

Ciencia e Investigación

Primera revista argentina de información científica / Fundada en enero de 1945



**PRESENTE Y FUTURO DE LAS
ENERGÍAS RENOVABLES NO
CONVENCIONALES**

■ Jaime A. Moragues

**ENERGÍAS RENOVABLES,
BIOCOMBUSTIBLES Y
MICROALGAS MARINAS**

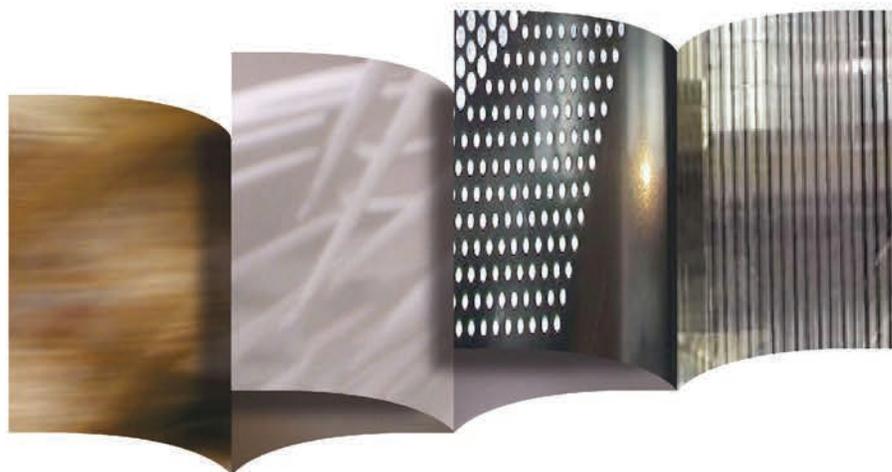
■ Viviana A. Alder

**PANORAMA ACTUAL Y GLOBAL
DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SUS
RELACIONES AMBIENTALES Y SOCIALES**

■ Ricardo A. Bastianon

**ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONECTADA A RED**

■ Juan Carlos Plá, Claudio Bolzi, Julio César Durán



Desarrollo y gestión de proyectos científicos y tecnológicos innovadores

FUNINTEC es una organización sin fines de lucro creada por la Universidad de San Martín cuyo objetivo es promover y alentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimientos a los sectores público y privado, sus empresas y en particular a las PyMES.

Dentro de los alcances previstos por la Ley de Innovación Tecnológica, funciona como vínculo entre el sistema científico tecnológico y el sector productivo.

CONTACTO:
www.funintec.org.ar

Fundación
Innovación
y Tecnología

FUNINTEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN



EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Editora

Dra. Nidia Basso

Editores asociados

Dr. Gerardo Castro

Dra. Lidia Herrera

Dr. Roberto Mercader

Dra. Alicia Sarce

Dr. Juan R. de Xammar Oro

Dr. Norberto Zwirner

CIENCIA E

INVESTIGACIÓN

Primera Revista Argentina
de información científica.

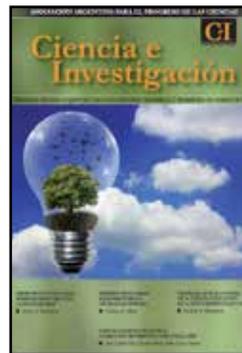
Fundada en Enero de 1945.

Es el órgano oficial de difusión de
La Asociación Argentina para el
Progreso de las Ciencias.

A partir de 2012 se publica en dos
series, Ciencia e Investigación
y Ciencia e Investigación Reseñas.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma
de Buenos Aires, Argentina.
Teléfono: (+54) (11) 4811-2998
Registro Nacional de la
Propiedad Intelectual
N° 82.657. ISSN-0009-6733.

Lo expresado por los autores o
anunciantes, en los artículos o
en los avisos publicados es de
exclusiva responsabilidad de los
mismos.



SUMARIO

EDITORIAL

Jornada de puertas abiertas sobre Energías Renovables en
Argentina

Susana Hernández 3

ARTÍCULOS

Presente y futuro de las energías renovables no convencionales

Jaime A. Moragues 5

Energías renovables, biocombustibles y microalgas marinas

Viviana A. Alder 29

Panorama actual y global de la energía eólica y sus relaciones
ambientales y sociales

Ricardo A. Bastianon 43

Energía solar fotovoltaica generación distribuida conectada
a red

Juan Plá, Claudio Bolzi, Julio César Durán 51

INSTRUCCIONES PARA AUTORES 67

*... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre
los trabajadores científicos que cultivan disciplinas
diversas y órgano de expresión de todos aquellos que
sientan la inquietud del progreso científico y de su
aplicación para el bien.*

Bernardo A. Houssay

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente
Dr. Miguel Ángel Blesa*

Vicepresidente
Dra. Susana Hernández

Secretaria
Dra. Alicia Sarce

Tesorero
Dra. Lidia Herrera

Protesorero
Dr. Gerardo Castro

Miembros Titulares
Ing. Juan Carlos Almagro
Dr. Alberto Baldi
Dra Nidia Basso
Dra. María Cristina Cambiaggio
Dr. Eduardo Hernán Charreau
Dra. Alicia Fernández Cirelli
Dr. Alberto Pochettino
Dr. Carlos Alberto Rinaldi
Dr. Marcelo Jorge Vernengo
Dr. Juan Roberto de Xammar Oro

Miembros Institucionales:
Sociedad Argentina de Farmacología Experimental:
Dra. Graciela Noemí Balerio.

Sociedad Argentina de Hipertensión Arterial:
Dra. Ana María Puyó

Sociedad Argentina de Investigaciones Bioquímicas:
Dr. Luis Alberto Quesada Allué

Sociedad Argentina de Microscopía:
Dr. Raúl Antonio Versaci

Unión Matemática Argentina:
Dra. Ursula María Molter

Miembros Fundadores

Dr. Bernardo A. Houssay – Dr. Juan Bacigalupo – Ing. Enrique Butty
Dr. Horacio Damianovich – Dr. Venancio Deulofeu – Dr. Pedro I. Elizalde
Ing. Lorenzo Parodi – Sr. Carlos A. Silva – Dr. Alfredo Sordelli – Dr. Juan C. Vignaux – Dr.
Adolfo T. Williams – Dr. Enrique V. Zappi

AAPC

Avenida Alvear 1711 – 4º Piso
(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina
www.aargentinapciencias.org

* En uso de licencia

JORNADA DE PUERTAS ABIERTAS SOBRE ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA



Susana Hernández

Presidente AAPC

shernand@df.uba.ar

Durante 2017 el Encuentro Permanente de Asociaciones Científicas (EPAC) que promueve y coordina la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC) tomó a su cargo la organización de una Jornada de Puertas Abiertas destinada a la comunidad científica y al público en general, con el título **Argentina y su gente: energías renovables para y por argentinos**. En esta Jornada se ofrecieron conferencias plenarias a cargo de tres destacados especialistas. Jaime Moragues brindó una introducción a las energías renovables y su desarrollo en Argentina, Carlos Reboratti se refirió a los aspectos sociales del uso de la energía, sus escalas y problemas, y Viviana Alder detalló el Proyecto Pampa Azul que lleva adelante el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, con énfasis en sus implicaciones en el desarrollo de energías renovables. A continuación tuvo lugar un Panel sobre almacenamiento de energía en el cual Ernesto Calvo ilustró en profundidad el presente y futuro de las baterías de Litio, y Juan Carlos Bolcich presentó un detallado panorama sobre los antecedentes y perspectivas en Argentina del uso de hidrógeno y energías renovables. La Jornada finalizó con un Panel sobre desarrollos nacionales en energías renovables, en el cual Ricardo Bastianón ofreció un panorama actual y global de las tecnologías en energía eólica con las relaciones directas y posibles con lo ambiental y social; Julio Durán se refirió a la energía solar fotovoltaica y a su generación distribuida conectada a red en áreas urbanas; Diego Mathier presentó los aportes del módulo de bioenergía del Programa Nacional de Agroindustria y Agregado de Valor (PNAIyAV) de INTA para el agregado de

valor en origen de la biomasa y la bioenergía distribuida, y Selva Pereda describió el diseño de productos destinados a impulsar la producción de biocombustibles.

Debido al extraordinario volumen de las presentaciones y a la calidad de las mismas, hemos decidido publicar los trabajos suministrados por los conferencistas y panelistas en dos volúmenes de Ciencia e Investigación. Lamentamos no contar con la contribución de Carlos Reboratti, de modo que la presente edición consta de cuatro trabajos, y en breve publicaremos los cuatro restantes.

Este número de Ciencia e Investigación abre con la muy completa presentación de Jaime Moragues sobre el presente y futuro de las energías renovables no convencionales en el país y en el mundo, enriquecido por abundantes referencias cuantitativas sobre evolución y costos, así como aspectos legales, sociales y ambientales. Viviana Alder nos conduce por una fascinante recorrida del mundo de los biocombustibles derivados de la biomasa, deteniéndose especialmente en las microalgas marinas como opción de energía renovable en desarrollo. En efecto, el biodiesel derivado de los lípidos contenidos en las microalgas cobra especial interés, según la autora, por tratarse del biocombustible más parecido al petróleo. Ricardo Bastianón nos ofrece un amplio panorama de las energías eólicas, cuyo desarrollo en Argentina comienza en 1980 con el diseño y construcción de la Turbina Eólica Argentina, que comenzó en la Facultad de Ingeniería de la UBA, fue instalada en Vicente López en Octubre de 1983 y es la turbina más grande y de mayor potencia construida en Sudamérica. Diego Mathier nos explica en detalle el desarrollo de la bioenergía en Argentina, en sus Formas: bioetanol, biodiesel y biogas, y nos hace conocer casos relevados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) que ilustran de qué manera los emprendimientos locales que hacen uso de la bioenergía mejoran la calidad de vida de una región y facilitan su desarrollo estratégico, transformando un pasivo ambiental en un activo económico y haciendo posible el agregado de valor a la producción agropecuaria.

Fieles al estilo de Ciencia e Investigación, no dudamos de que el presente volumen acaparará el interés de nuestros lectores, a quienes agradecemos su contribución para la difusión del mismo.

PRESENTE Y FUTURO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

Palabras clave: Energías renovables, ambiente, consumo energético.
Key words: Renewable energies, environment, energy consumption.

■ Jaime A. Moragues

Presidente de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente

E-mail: jbamoragues@gmail.com

■ 1. LA CUARTA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

Si bien **la energía** no es una necesidad básica para el ser humano como el aire, el agua y los alimentos, hoy en día es un componente esencial para lograr la satisfacción de aquellos y ha estado siempre directamente vinculada con las grandes **revoluciones de la Humanidad**.

Actualmente estamos ya inmersos en la cuarta revolución energética, que irá cambiando los usos y costumbres de la sociedad a medida que se vayan concretando los **nuevos paradigmas** basados en energías renovables y su uso descentralizado, el uso racional y eficiente de la energía y la conservación del ambiente.

Las dos primeras revoluciones, ocurridas hace muchos miles de años, fueron lentas en su accionar.

El control del fuego, ocurrido hace quinientos mil años, como lo muestran lo encontrado en las cuevas del hombre de Pekín y de Java, permitió al ancestro del homo sapiens ampliar la superficie habitable al posibilitar un control rudimentario del clima, e hizo digeribles mu-

chos alimentos no aprovechables en su estado natural. Así, el empleo de biomasa para producir energía térmica fue la primera gran revolución energética.

La segunda revolución se produjo cuando el predador nómada del paleolítico, ante el peligro de la escasez y la destrucción por el saqueo de sus fuentes naturales de subsistencia, inició hace 10.000 años una rudimentaria agricultura que fue incrementado con la utilización de animales de carga, que centuplicaron el rendimiento de los campos, convirtiéndose entonces en agricultor y pastor y tomando conciencia del empleo de dos fuentes de energía externas; la importancia de la energía solar para sus cultivos y el uso de la energía mecánica aportada por los animales.

Ya en nuestra era, la tercera gran revolución, la denominada industrial, que podemos ubicar en 1.769 cuando James Watt patentó su máquina a vapor, fue producto de haberse logrado la conversión de la energía térmica a mecánica, cambiando los sistemas productivos e iniciando un desarrollo que sigue en progreso constante hasta nuestros

días. El descubrimiento del petróleo y la electricidad 100 años después aceleraron estos procesos.

La cuarta revolución, que estamos viviendo, se inició en los años 70 a través de dos caminos: el energético y el ambiental. El primero, al incrementarse enormemente, en 1973, el precio del petróleo, hizo ver a los países industrializados la necesidad de desarrollar nuevas opciones energéticas. En 1978 se produjo un nuevo aumento de este combustible, que incentivó más los programas de desarrollo de las tecnologías de aprovechamiento de fuentes renovables de energía. La Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, realizada en 1972 en Estocolmo, donde se formó el Programa de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA), fue el camino ambiental que también impulsó el desarrollo de estas fuentes.

Luego de entrar en un cono de sombra a mitad de la década del 80, con la disminución del precio del petróleo, las energías renovables volvieron a surgir, y ahora para quedarse, con la toma de conciencia de los problemas de contaminación

ambiental que producen los hidrocarburos, a partir de la Conferencia conocida como ECO 92 o la Cumbre de la Tierra, realizada en 1992 en Río de Janeiro.

El desarrollo de las tecnologías desde la década del 90 hizo que el empleo de estas fuentes de energía, que no eran competitivas desde el punto de vista económico, ya lo sean en muchos casos.

Hoy la sociedad, ya consciente de los problemas ambientales generados por el uso hegemónico de los combustibles fósiles, enfrenta el de-

safío de diversificar su matriz energética, sustituyendo aquellos por las energías renovables y aplicando medidas de eficiencia en todas las acciones que se realizan en las diversas etapas del quehacer energético para optimizar su uso, partiendo de los recursos, pasando por los servicios, hasta llegar al nivel de los consumidores.

La sustentabilidad energética y ambiental se mide por la posibilidad de un proceso de desarrollo económico y social de forma compatible con un objetivo de conservación de la calidad del ambiente, existiendo

sinergias especiales entre la eficiencia energética y las fuentes de energía renovable, tanto en el contexto técnico como en el político, para contribuir en forma decisiva a ese logro.

2. PANORAMA MUNDIAL Y NACIONAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo de energía a nivel mundial según la "Renewable Energy Network for the 21st Century (REN 21)- Renewable 2017-Global Status Report"^[1], considerando todas las fuentes primarias de energía, se muestra en la Figura 2, donde se observa la distribución porcentual por tipo de fuente. Para el caso de Argentina en la Tabla 1 se muestra la distribución por fuente de la oferta interna para el año 2015 según el Balance Energético Nacional del Ministerio de Energía y Minería^[2].

Como puede observarse hay a nivel mundial un total dominio de las energías de origen fósil (78,4 %), estando nuestro país por encima de ese promedio (87,4 %). Las energías renovables son un 19,3 % a nivel mundial, mientras que la Argentina tiene un 9,4 %.

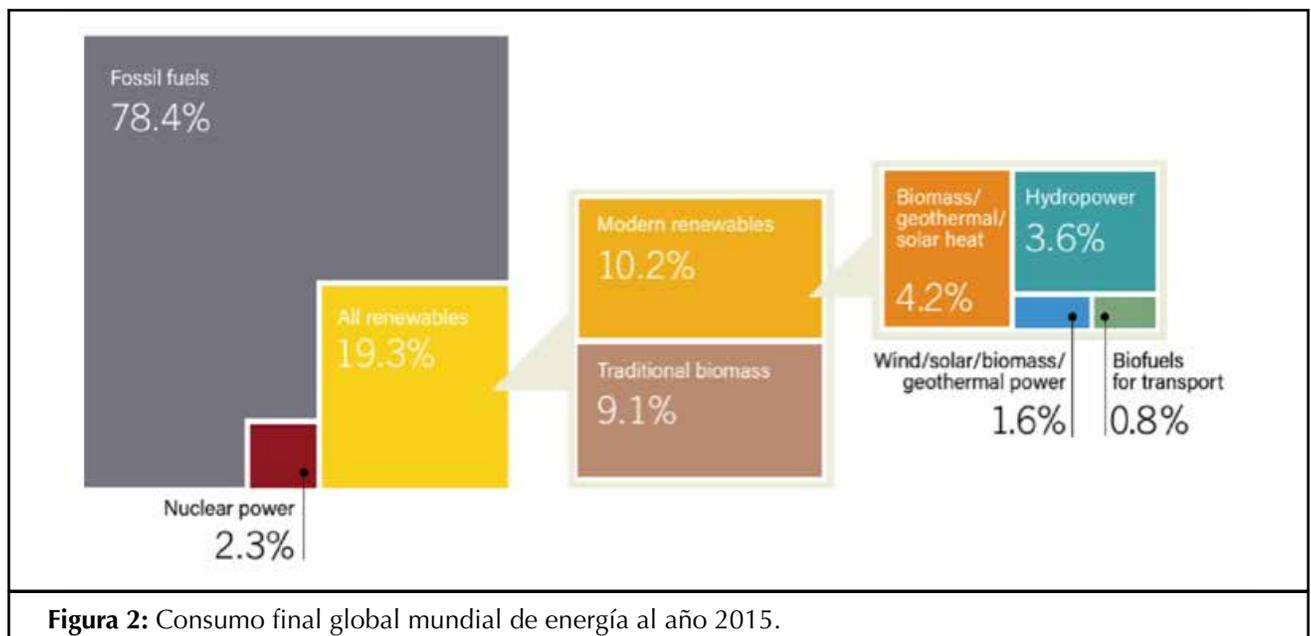
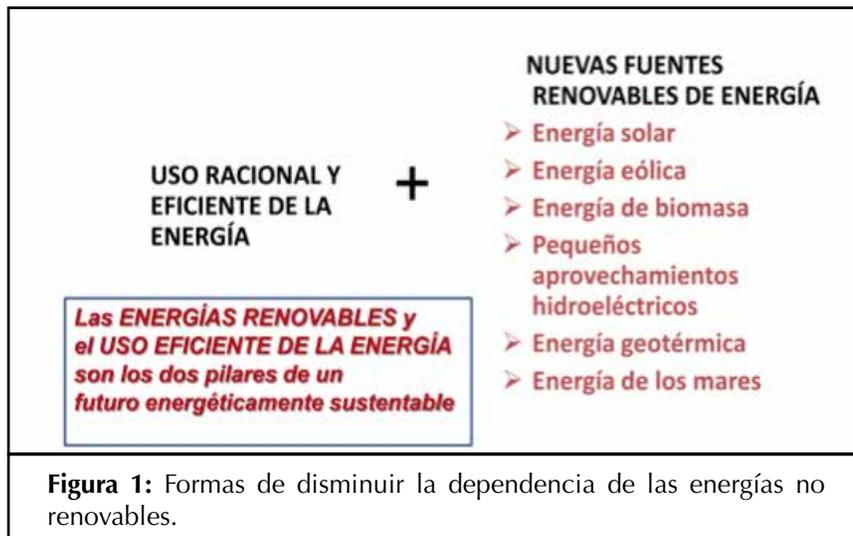


Tabla 1: Distribución de oferta interna de fuentes de energía primaria en Argentina Balance Energético 2015 (Ref. 2-elaboración por el autor).

Energía proveniente de recursos no renovables	90,6 %	87,4 % Fosil	Gas	52,32 %
			Petróleo	33,40 %
			Carbón	1,70 %
		3,21 %	Nuclear	2,75 %
			Otros	0,46 %
Energía proveniente de recursos renovables	9,4 %		Hidráulica	4,40 %
			Alcoholes vegetales	0,53 %
			Aceite vegetales	2,09 %
			Bagazo	1,00 %
			Leña	1,14 %
			Energía eólica	0,22 %
			Energía Solar	0,0016 %

Considerando solamente energía eléctrica, en la Figura 3 se observa la distribución porcentual por tipo de fuente según REN 21, mientras que en la Figura 4 se presenta los datos para la Argentina.

En ambos casos hay un predominio de las fuentes no renovables, pero nuestro país con un 69,27 % está por debajo del nivel mundial (75,5 %).

Si consideramos el total de fuentes fósiles en la Argentina (ver tabla 1), y se distribuye por sector de consumo, se tiene los porcentajes de Figura 5, de distribución de suma de derivados de petróleo, gas y carbón por sectores.

Esto indica que se pueden reemplazar los derivados de las energías fósiles, en todos los sectores de consumo, por energías renovables en sus diferentes aplicaciones; por ejemplo en Transporte por biocombustibles (y en el futuro por electricidad de origen renovable), en Residencial Comercial y Público usando energía solar para calentamiento de agua sanitaria, calefacción, refrigeración y agua potable, para el sector Industria calor a alta temperatura con concentradores de radiación solar y en el Agro secado de granos, pasteurización de leche, agua potable. En el sector Electricidad, donde se están realizando los mayores esfuerzos en el país, como veremos más adelante, todas las fuentes renovables contribuyen a la generación de esta energía.

3. ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL

En la Figura 6 se muestra, según Ref 2, la evolución en los últimos 10 años de la implementación de políticas de energías renovables y metas, políticas sin metas y sólo

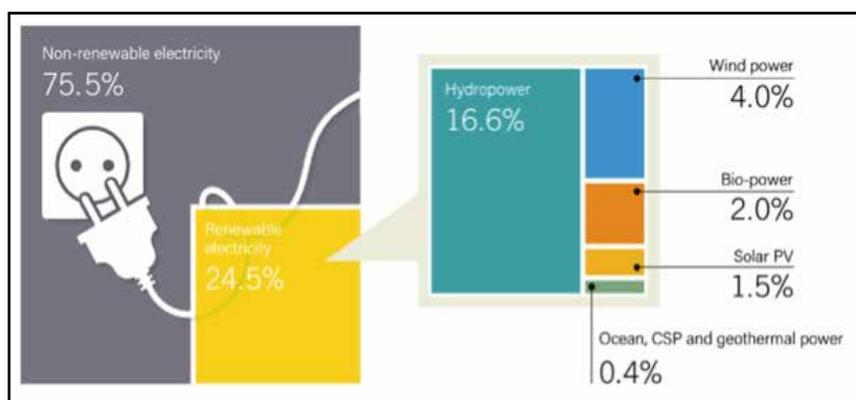


Figura 3: Producción Mundial de Energía Eléctrica 2016.

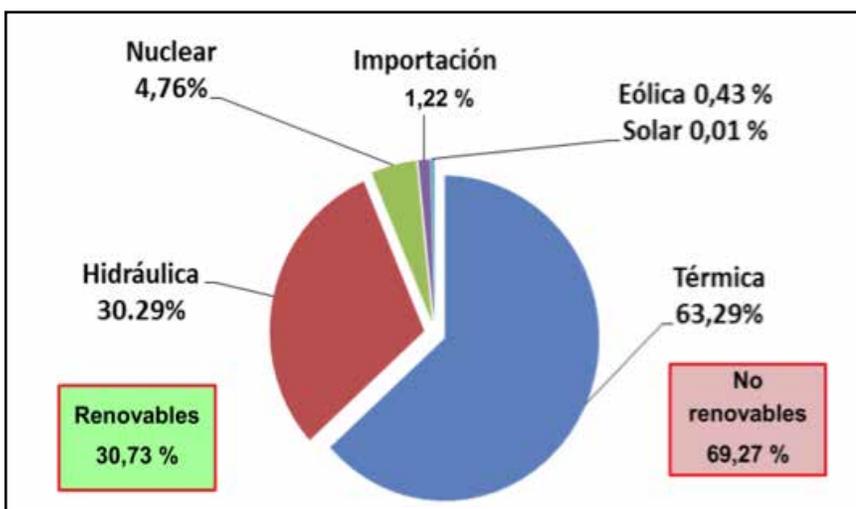


Figura 4: Distribución de electricidad por fuente en Argentina – 2015. (Ref. 2-elaboración del autor).

metas, a nivel mundial por país, así como aquellos que no tienen ningún programa al respecto. El incremen-

to en conjunto ha sido asombroso, quedando ya muy pocos países que no se encuentren involucrados en el

impulso de estas fuentes de energía.

En la Figura 7 podemos ver como contribuyen las diferentes fuentes de energías renovables a la generación de trabajos directos e indirectos según la International Renewable Energy Agency^[3]. La mano de obra de la energía renovable a nivel mundial, alrededor de 8,1 millones de puestos de trabajo-directos e indirectos en el año 2015, abarca una amplia gama de ocupaciones y especializaciones en fabricación, construcción, instalación, explotación y mantenimiento. Los datos de ese estudio también sugieren que el sector emplea un mayor porcentaje de mujeres que el resto del sector energético.

En la Figura 8 se muestra, para las diferentes fuentes de energías renovables sin considerar la energía

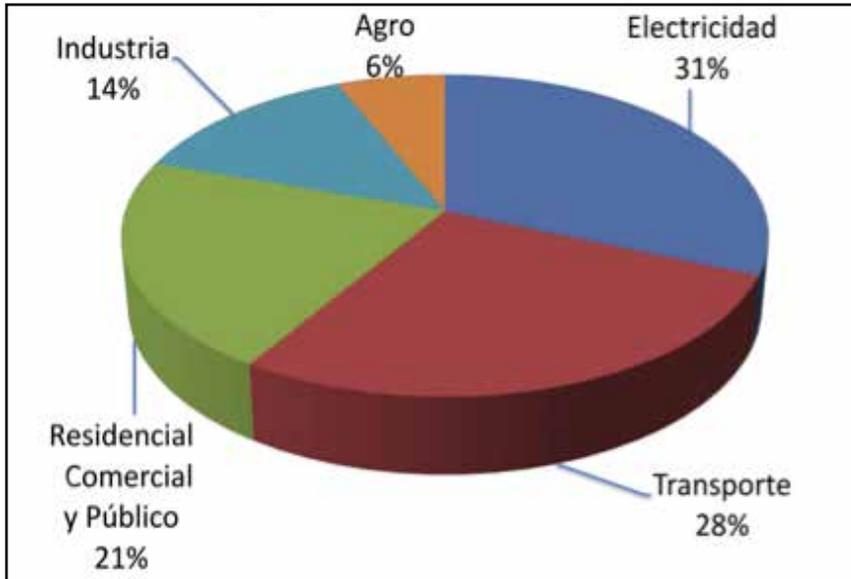


Figura 5: Distribución en Argentina de suma de derivados de petróleo, gas y carbón por sector de consumo-2015. (datos Ref. 2 elaborados por el autor)

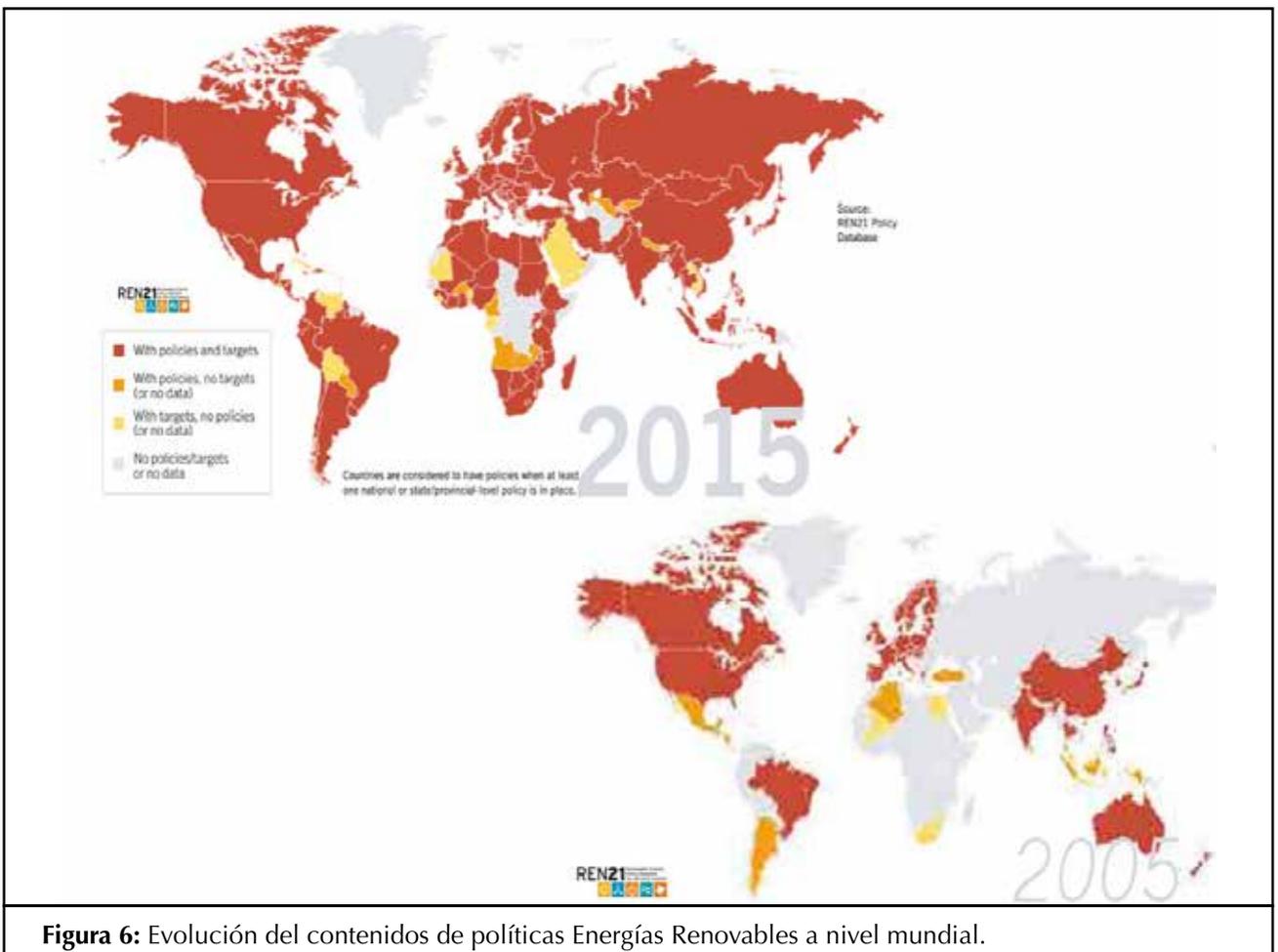


Figura 6: Evolución del contenido de políticas Energías Renovables a nivel mundial.

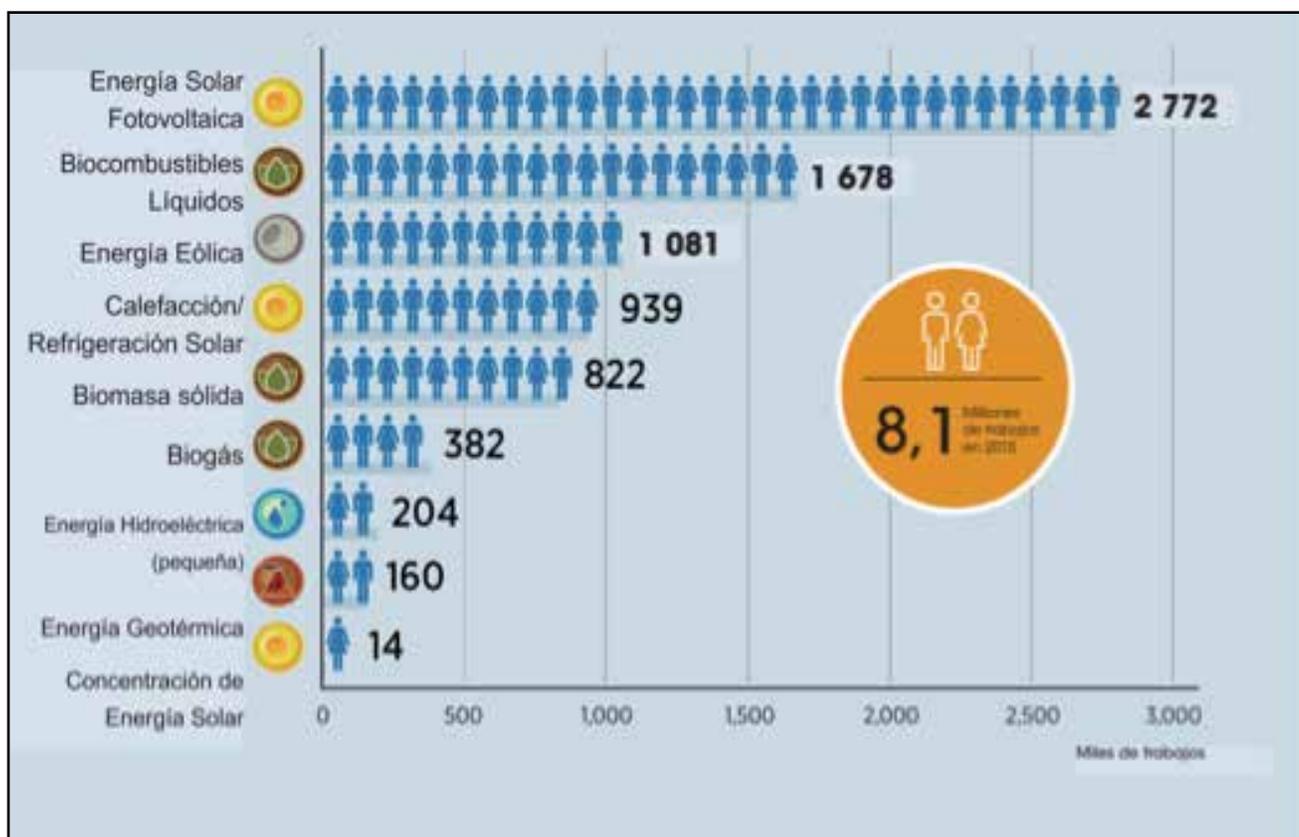


Figura 7: Estimación de generación trabajos directos e indirectos por fuentes (Ref. 3).

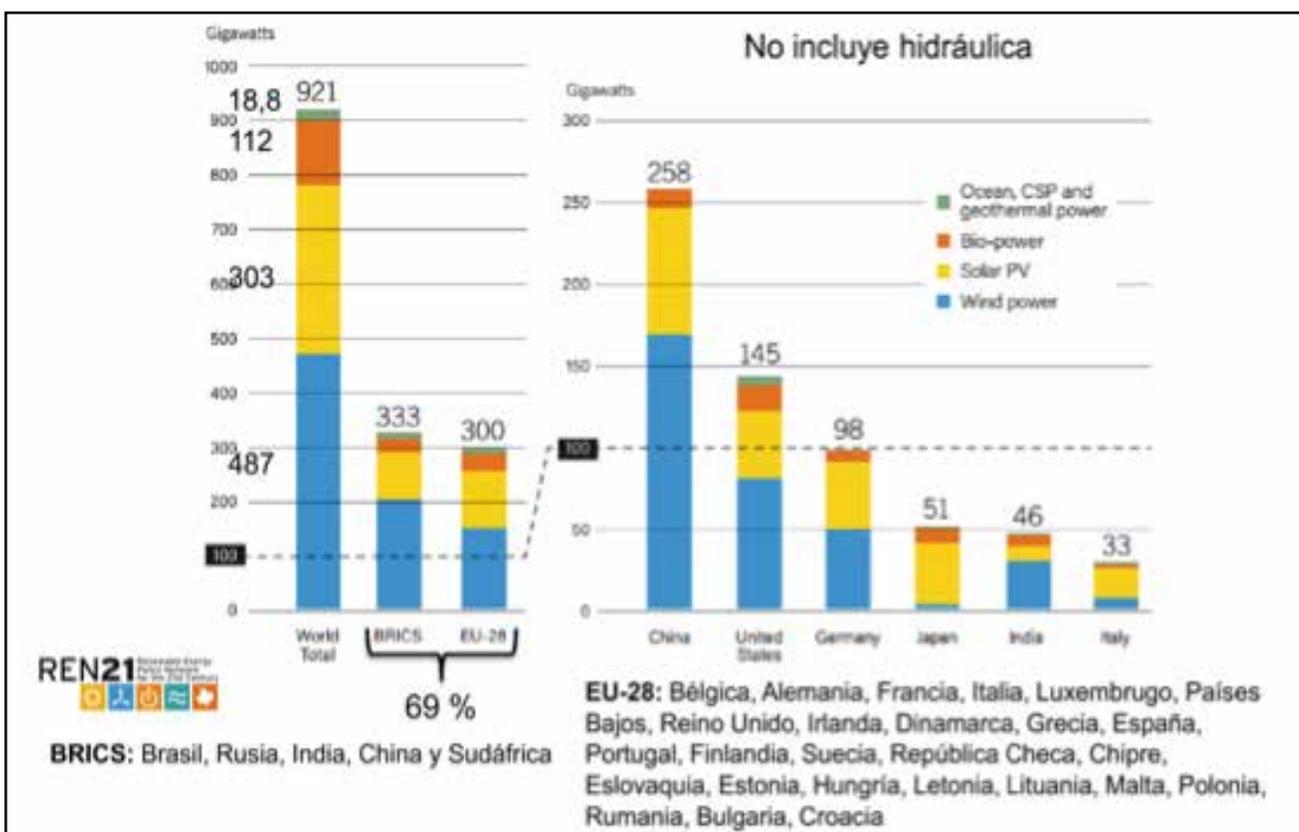


Figura 8: Potencia instalado de energías renovables para generación de electricidad a nivel mundial-2016. (Ref. 2).

hidráulica, las potencias instaladas para la generación de electricidad a nivel mundial para el año 2016. Por otro lado se muestra para dos grandes paquetes de países, BRICS y EU-28 los Gigawatts instalados que sumados son el 69 % del total mundial. A nivel países se presentan los seis principales, destacándose China con casi el doble de instalaciones que el país que le sigue, EE.UU.

3.1 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN POR TIPO DE FUENTE RENOVABLE.

Analizando la evolución en los últimos diez años de la instalación de sistemas eólicos y fotovoltaicos,

se ve en Figura 9 un crecimiento continuo, con un incremento importante por años para el último período (de 11 a 15 % para eólico y de 20 a 25 % para fotovoltaico).

En el caso de la energía eólica se observa un crecimiento del tamaño de las máquinas (ver Figura 10), con proyección hacia valores realmente muy grandes. Los tamaños actuales en las instalaciones en curso son de 2 a 3 MW. Los tamaños mayores son prototipos.

En la Figura 11 se muestra la distribución de la potencia instalada de energía eólica y solar en los 10 principales países en el período

2015 y 2016. En ambos casos China es claramente predominante. En el caso eólico, EE.UU. que le sigue, tiene en el año 2016 casi la mitad de la potencia instalada, mientras que en el caso fotovoltaico los tres países que le siguen, Japón, Alemania y EE.UU., tienen valores similares y alrededor de la mitad de China.

En la Figura 12, a la izquierda, se observa la variación durante el período 2006-2016 de instalaciones de diferentes tipos de concentradores de radiación solar, estando la mayoría operando en España, seguido por EE.UU. En los últimos 3 años hay un menor crecimiento; sin embargo Ref. 2 indica que se

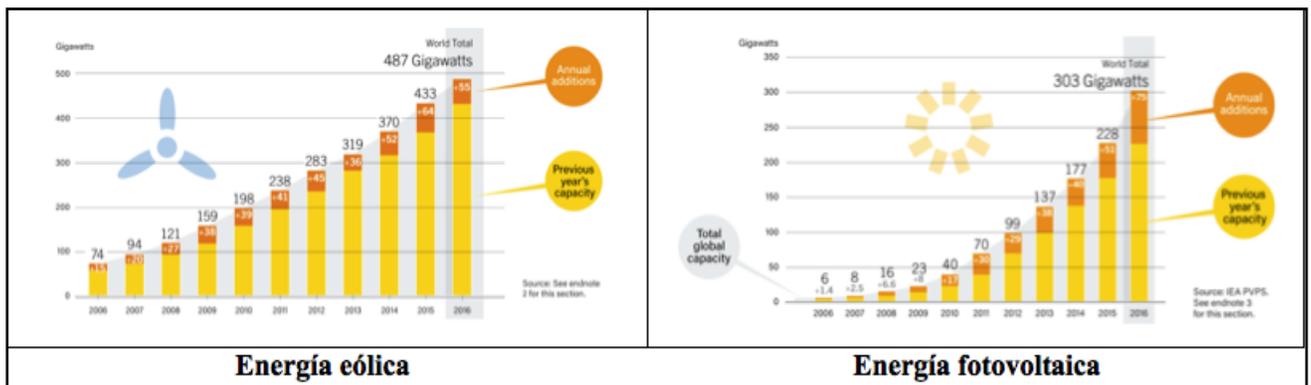


Figura 9: Variación de la capacidad mundial instalada 2006-2016 (Ref. 2).

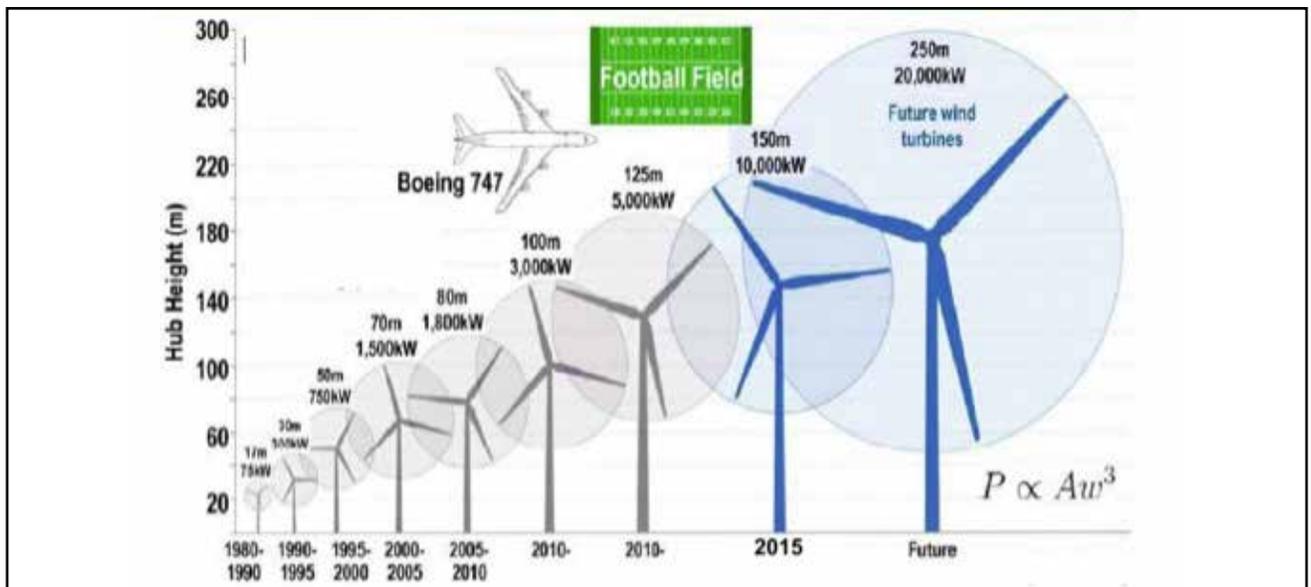


Figura 10: Crecimiento en potencia y diámetro de rotor de los aerogeneradores.

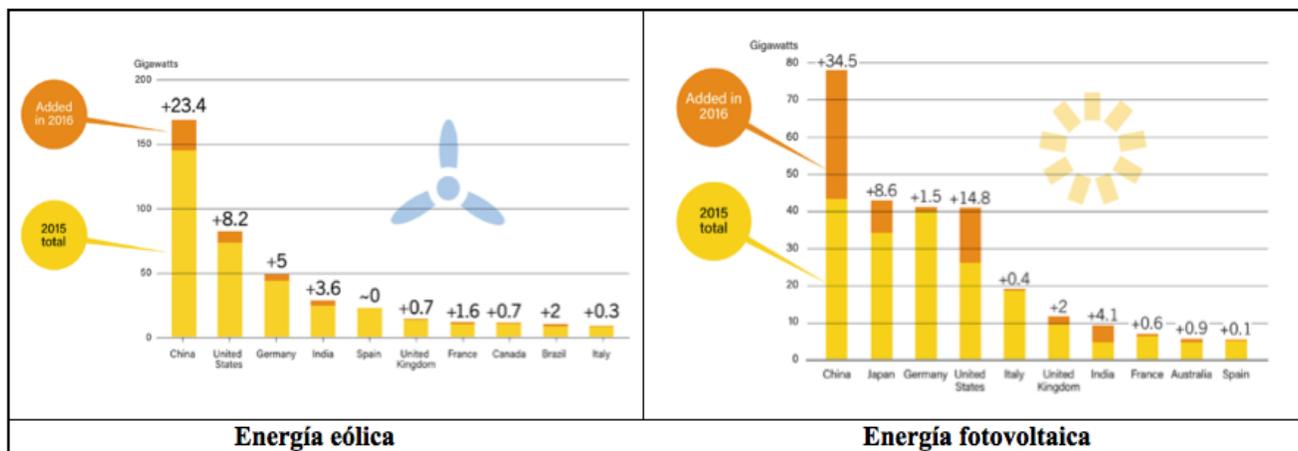


Figura 11: Distribución de potencia instalada en los 10 países principales 2015-2016 (Ref. 2).

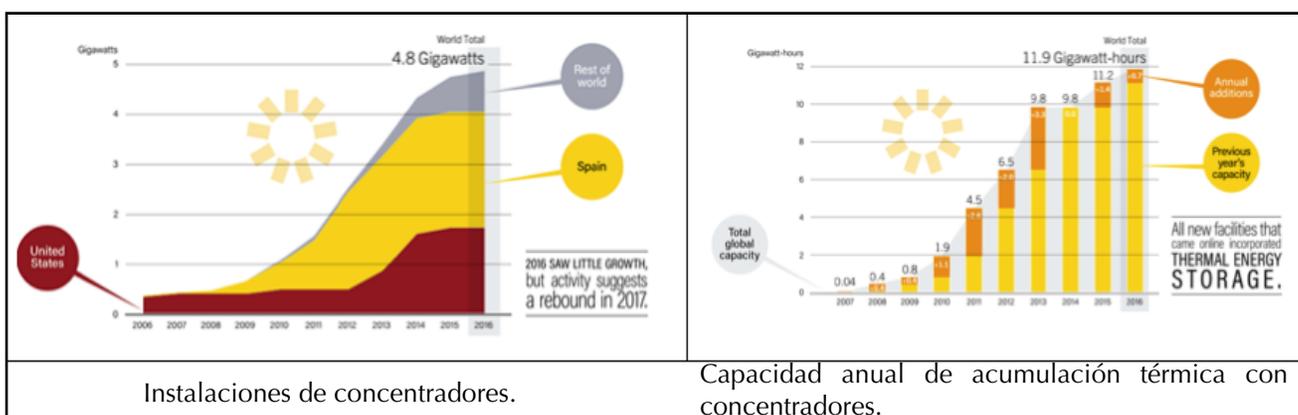


Figura 12: Sistemas de concentración de radiación solar (Ref.2).

observa un aumento durante el año 2017. A la derecha de la misma figura se muestra el crecimiento de la capacidad de acumulación de energía térmica en sales fundidas, calor generado con concentradores. Esta propiedad es la que sigue impulsando el desarrollo de estos sistemas de conversión, que permitiría poder disponer de generación de energía de origen solar durante las horas sin sol, y combinando los sistemas fotovoltaicos con los concentradores, usando la energía térmica para generar vapor y accionar una turbina convencional, tener un sistema generador de electricidad las 24 horas del día con energía de origen solar. Estos sistemas de acumulación deberán analizarse en costos frente a los sistemas de baterías.

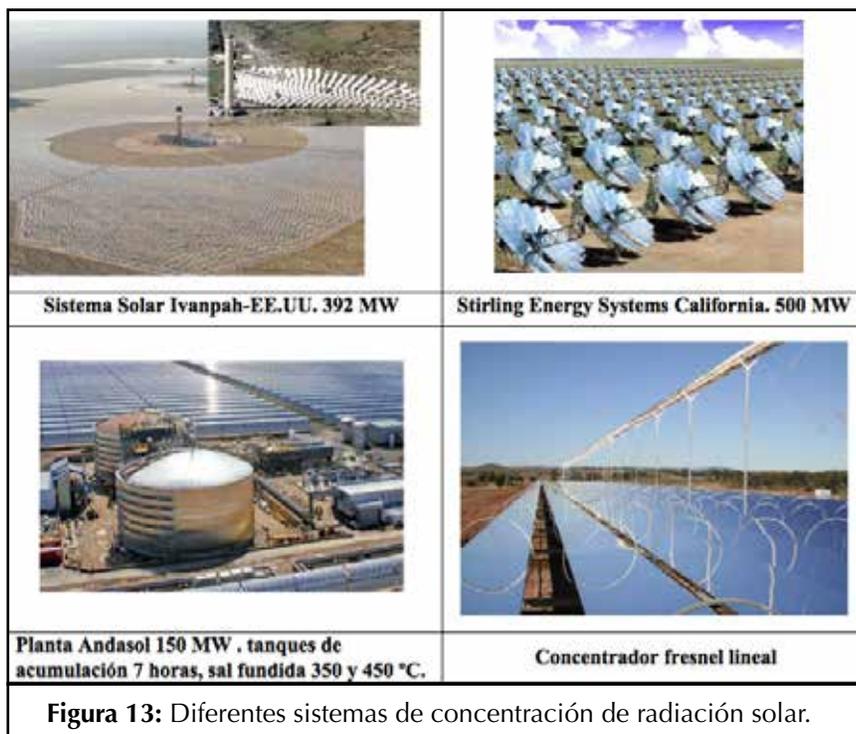


Figura 13: Diferentes sistemas de concentración de radiación solar.

En la Figura 13 se muestran di-

ferentes tipos de concentradores en desarrollos; en la parte superior a la izquierda un sistema de torre central, donde se muestra como ejemplo el campo de espejos, la torre y el haz concentrado y una central de 300 MW, y a la derecha concentradores paraboloïdes de revolución con un generador stirling en el foco; en la parte inferior izquierda concentradores con forma cilíndrico parabólica, con un ejemplo de concentración en sales fundidas con temperaturas de 350 a 450 °C, y a

la derecha se muestra un sistema de concentradores fresnel lineal.

El empleo de energía solar para calentamiento de agua domiciliar ha seguido también crecimiento continuo como se observa en la Figura 14, si bien en los últimos años el mismo es más atenuado. Las mayores instalaciones se encuentran en China con el 71 % del total mundial.

En la figura 15 se observa el crecimiento de la producción mundial

de aceites vegetales hidrotratados, biodiesel y etanol.

3.2 COSTO DE kWh

Para la comparación del costo del kWh de la electricidad generado con diferentes sistemas de fuentes de energía se emplea el denominado Levelized Energy Cost (LEC), Levelized Cost of Electricity (LCOE) o Costo Normalizado de la Energía (CNE) que se define a través de la siguiente fórmula donde se da el valor

$$LCOE = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electrical energy produced over lifetime}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

- I_t: Gastos de inversión en el año t
- M_t: Gastos de operación y mantenimiento en el año t
- F_t: Combustible consumido en el año t
- E_t: Electricidad generada en el año t
- n : Tiempo de vida esperado de una central de generación

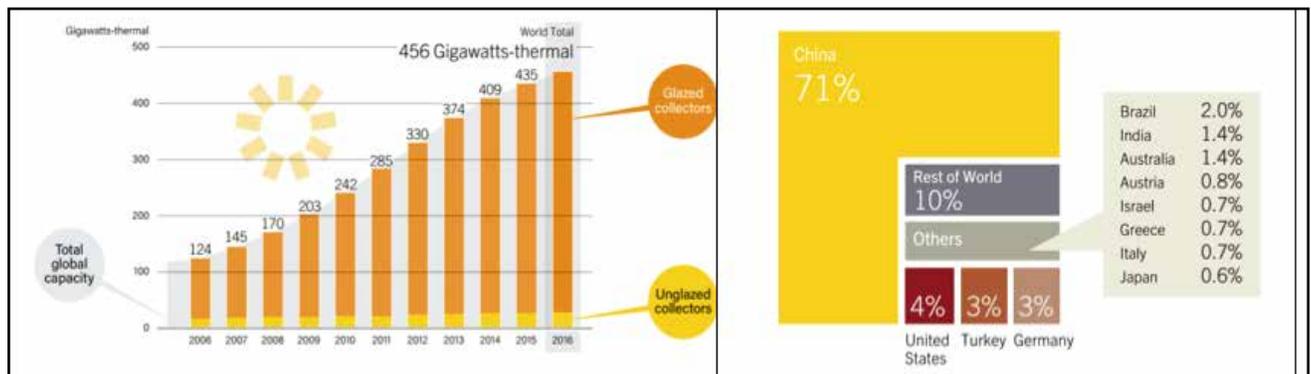


Figura 14: Capacidad total instalaciones de equipos de calentamiento solar de agua sanitaria.

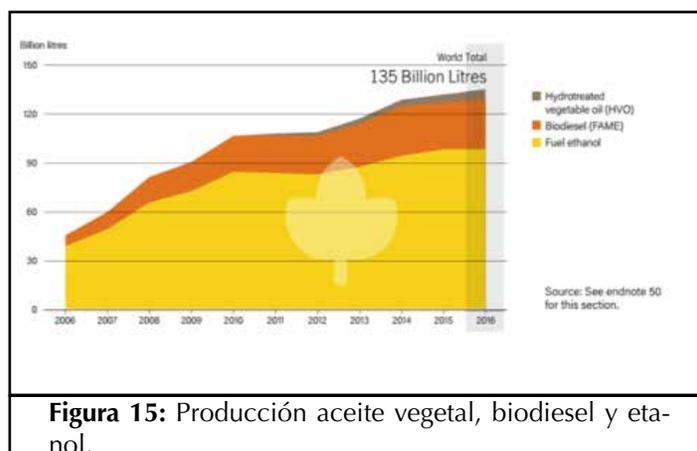
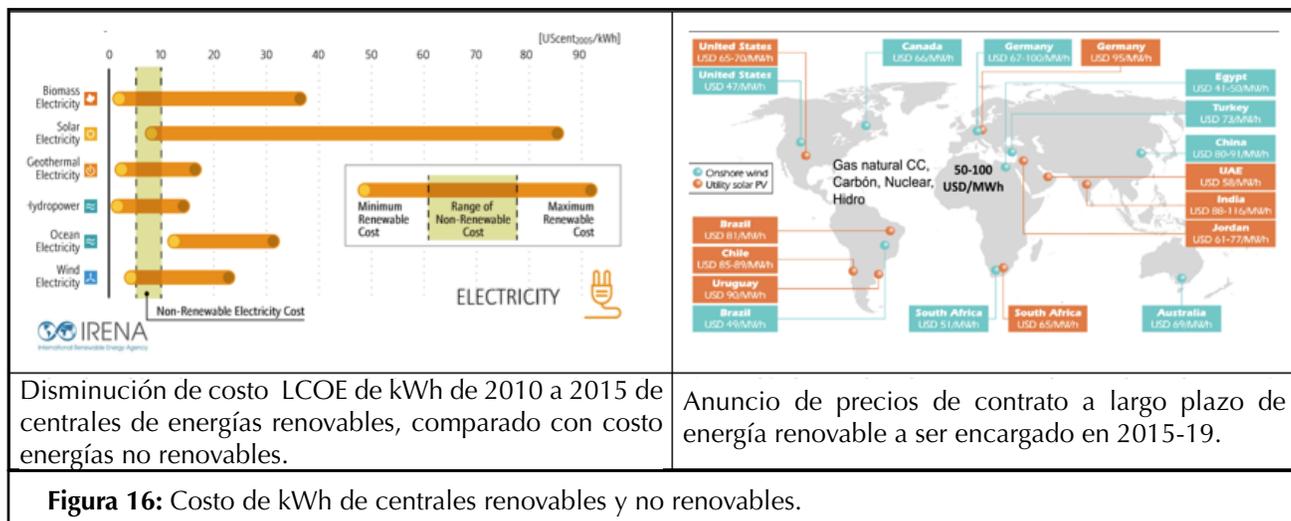


Figura 15: Producción aceite vegetal, biodiesel y etanol.



presente neto del costo unitario de la electricidad sobre la vida útil de un sistema de generación.

En la Figura 16, a la izquierda, se muestra la disminución del costo de LCOE entre 2010 y 2015 de la generación de electricidad con energías renovables frente a los sistemas no renovables^[4] y en la derecha el anuncio de precios de contratos a largo plazo para generación fotovoltaica y eólica de electricidad para el periodo 2015-2019^[5] en diferentes mercados del mundo, donde el autor ha agregado para comparación valores para sistemas convencionales. Como puede observarse los costos de generación con energías renovables no convencionales se encuentran en valores totalmente competitivos con los no renovables.

3.3 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Para tener en cuenta la contaminación ambiental de las diferentes fuentes de energía se debe analizar por separado los aspectos ambientales vinculados con la fabricación de los equipos de aprovechamiento y su empleo para la generación. En el denominado Ciclo de Vida se analiza la contaminación en la fabricación de todas las partes del sistema, desde la **extracción de las materias**

primas necesarias para su elaboración, traslado, construcción, etc, la operación del mismo para producir energía y finalmente la gestión final de desmonte al final de su vida útil.

Como ejemplo se muestra el estudio realizado por el "Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía" de España, cuyo objetivo fue cuantificar los daños o impactos medioambientales y social provocados por diversas tecnología de generación de electricidad^[6], cuyo

resultado se muestra en la Figura 17; en el trabajo, que es del año 2014, se define con detalle el cálculo de los ecopuntos como parámetros de comparación. Para el caso de generación fotovoltaica consideran que el valor todavía alto se debe a la inexistencia de una producción industrial en grandes series, como a la cantidad relativamente elevada de electricidad que exige la elaboración de las celdas fotovoltaicas, cuya generación actualmente procede de un mix con una fuerte compo-

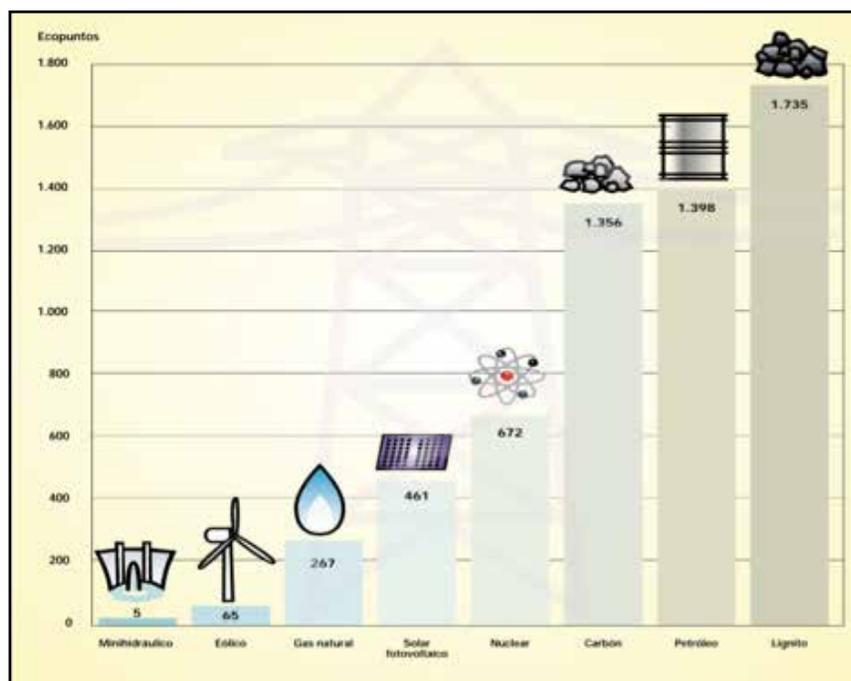


Figura 17: Ecopuntos finales de los impactos medioambientales por categorías y sistemas energéticos.

sición térmica y nuclear, y debe ser sumada a esa contaminación. Los expertos prevén que los avances tecnológicos permitirán reducir la cantidad de energía necesaria para la fabricación de células solares y, con ello, los impactos medioambientales de esta tecnología, que además mejorará a medida que la electricidad utilizada sea mayormente de fuentes renovables.

4. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN LA ARGENTINA

La República Argentina dispone

en su territorio de recursos de todas las denominadas energías renovables no convencionales (ver Figura 18), y si bien hay regiones donde se encuentran algunas de ellas con mayor abundancia, es posible encontrarlas también distribuidas a lo ancho y lo largo del país con valores razonablemente altos, permitiendo así su empleo en diversas zonas con características diversas.

La energía solar se encuentra fundamentalmente en el noroeste, siendo la región de la Puna uno de los 6 lugares del mundo de mayor nivel de radiación solar según se

muestra en Figura 19.

Todo el sur del país tiene niveles de energía eólica con velocidades muy superiores a las disponibles en otra regiones del mundo (ver Figura 19) donde se está realizando un aprovechamiento intensivo de este recurso.

En el noreste y centroeste del país se dispone de abundante biomasa que pueden ser empleadas para fines energéticos. Además los residuos agrícolas, ganaderos, forestales, industriales y urbanos, que forman parte del recurso de biomasa, se encuentra distribuido en todo el país.

En el sector andino podemos encontrar energía geotérmica de alta entalpía para la generación de electricidad y de media y baja entalpía en otras zonas del país para usos diversos.

La costa Argentina de 5.117 km de extensión permite definir un escenario potencial para el uso energético tanto en la mareomotriz, como en las corrientes asociadas a ellas y la undimotriz.

Así mismo hay un potencial im-

FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA		ORIGEN
SOLAR	Conversión fototérmica	SOL
	Conversión fotovoltaica	
EÓLICA		
BIOMASA		
HIDRÁULICA		
DEL MAR	Gradiente térmico	
	De las olas	
	Mareomotriz	Atracción gravitatoria
GEOTÉRMICA		La Tierra

Figura 18: Fuente renovables de energía.

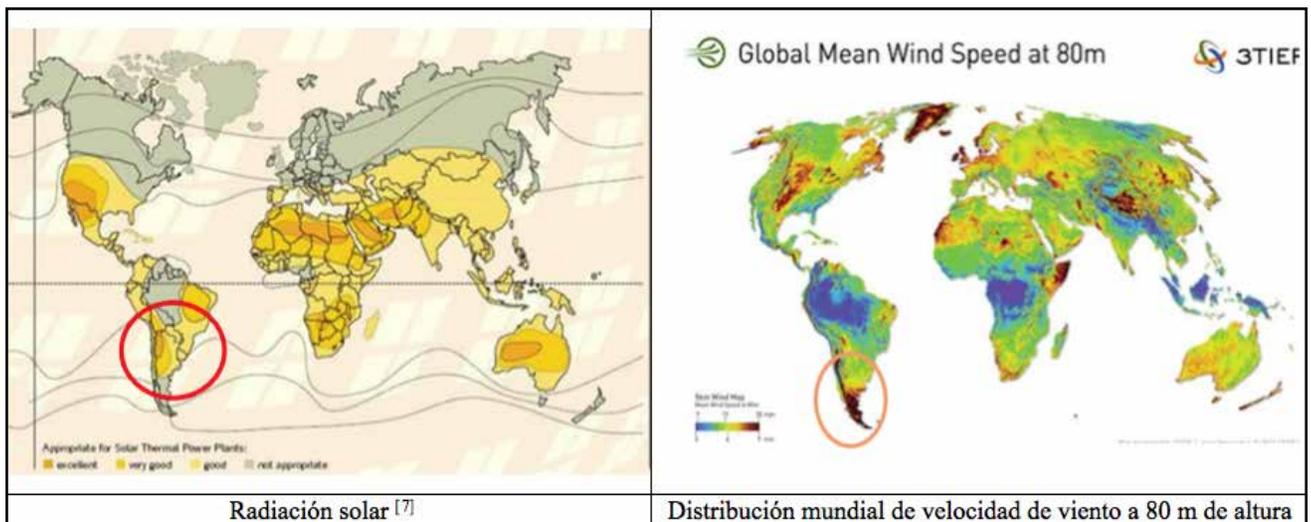
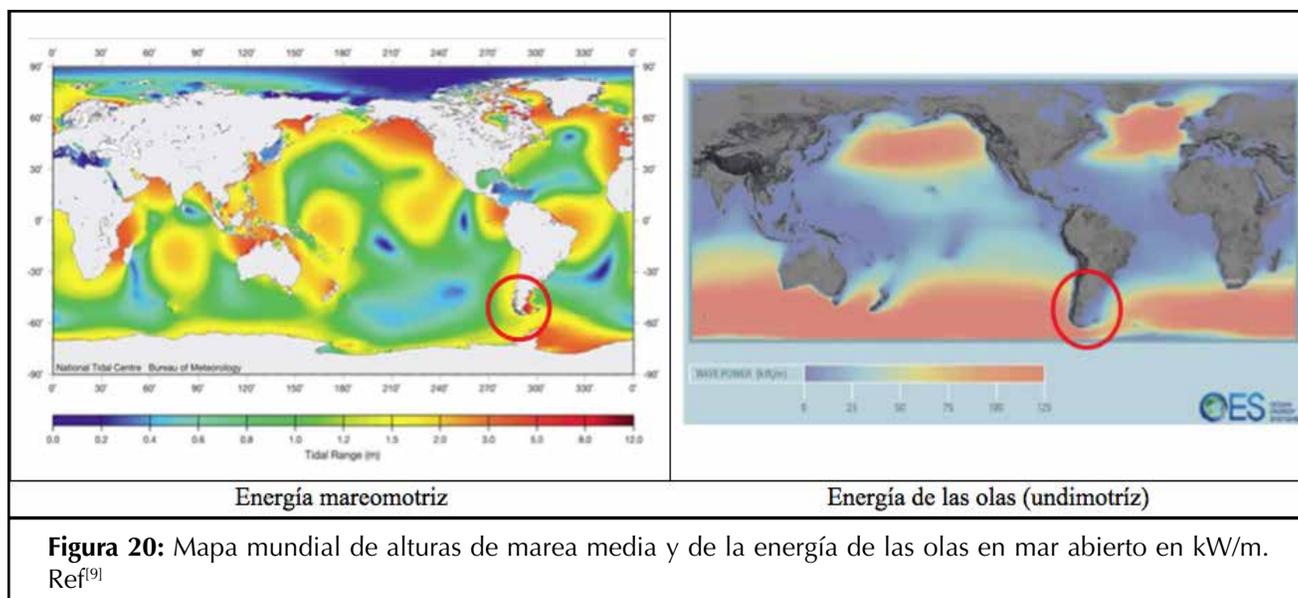


Figura 19: Energía solar y eólica a nivel mundial.



portante de energía hidráulica de baja potencia^[8] en los numerosos ríos que surcan el país.

Existen numerosos programas de aprovechamiento de las energías renovables en el país de los cuales vamos a describir algunos como ejemplo, partiendo de un resumen de antecedentes históricos.

4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación se desarrolló desde 1978 hasta 1992 el "Programa Nacional de Energía no Convencional" el cual disponía de un Comité coordinador conformado por representantes de los grupos de investigación y desarrollo dedicados al tema, con un Director designado por la Secretaría. Su tarea principal fue la coordinación de tareas entre los incipientes grupos dedicados a las energías renovables a fin de que se cubrieran la mayor cantidad de temas con la menor superposición posible. Disponía de un presupuesto propio para el apoyo a los grupos de I&D, así como para la colaboración en la financiación de Congresos nacionales y la asistencia a reuniones internacionales sobre el tema. Los desarrollos realizados durante todo

ese período, así como la consolidación de los grupos de I&D, tuvieron en este Programa un apoyo fundamental e invaluable.

Desde el año 1979, fecha de creación de la Dirección Nacional de Conservación y Nuevas Fuentes de Energía en el ámbito de la Secretaría de Energía de la Nación, se han ido desarrollando en Argentina, con altibajos, numerosas actividades relacionadas a las energías renovables y el uso racional y eficiente de la energía (UREE).

La primera disposición legal referida a estas acciones fue el Decreto 2247/85^[10], con una duración de cinco años durante el período 1985-1989, el cual asignaba recursos económicos específicos para la promoción de las actividades de energías renovables y UREE, siendo la Dirección Nacional de Conservación y Nuevas Fuentes de Energía la responsable de su desarrollo. El "Programa de Uso Racional de la Energía" tenía como subprograma:

- Conservación de Energía;
- Sustitución de Combustibles;
- Evaluación, Desarrollo y Aplica-

ción de Nuevas Fuentes de Energía;

- Régimen de Financiamiento.

Se crearon Centros Regionales por convenios con las provincias y/o universidades locales donde había grupos de I&D con experiencia en cada fuente. Sus funciones eran apoyar a los nuevos grupos que surgían aportando su experiencia acumulada, así como actuar de bancos de pruebas de equipos. Los Centros creados fueron:

- Centro Regional de Energía Solar [CRES] (Provincia de Salta)
- Centro Regional Energía Eólica [CREE] (Provincia de Chubut)
- Centro Regional de Energía Geotérmica [CREG] (Provincia de Neuquén).
- Centro Regional de Microaprovechamientos Hidráulicos [CRMH] (Provincia de Misiones).

Y un Centro de estudio que no llegó a concretarse como Centro Regional

- Centro de estudios de biomasa

(alconafta) [CEB] (Provincia de Tucumán).

Estos Centros funcionaron hasta el cambio de gobierno en el año 1989, salvo el CREE que fue absorbido por la provincia de Chubut y hoy sigue siendo un centro de excelencia en el tema eólico y el CRES, cuyo grupo INENCO es un Centro del CONICET y de la Universidad de Salta, referente en el tema solar térmico en el país.

Asimismo se crearon los Grupos de Estudios Sobre Energía (G.E.S.E.) en convenio con la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) para realizar programas de diagnóstico de consumos de energía en pequeñas y medianas empresas.

Como un tema interesante cabe mencionar que el grupo Energía Geotérmica de Neuquén, sobre cuya experiencia se creó el CREG, había identificado de acuerdo a diferentes niveles de estudio, Campos Geotérmicos de alta entalpía en la República Argentina que se resumen a la izquierda de la Figura 21. Estudiaron en particular con: a) Nivel de factibilidad Copahue (Neuquén), b) Nivel Pre factibilidad (2a. Fase) Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Salta-Jujuy), Bahía Blanca y Rio Valdez (Tierra del Fuego) y c) Nivel Pre factibilidad (1a. Fase) Valle del Cura (San Juan), El Ramal (Salta), Santa Teresita (Catamarca).

En el yacimiento de Copahue, único reservorio geotérmico estudiado con dos pozos realizados a 1.450 y 1.200 m de profundidad, habiéndose atravesado niveles fisurales que almacenan vapor a temperatura de 230°C, se instaló en 1988, con carácter demostrativo, la Central Eléctrica Geotérmica Copahue que operó hasta 1994, con una potencia nominal de 670 kW (ver Figura 21 derecha), la cual fue en ese momen-

to la única en América del sur.

Durante 10 años de 1979 a 1989^[11] se empleó la caña de azúcar para producir alcohol anhidro, que era mezclado en una proporción de 12% en volumen con la nafta y empleado como único combustible vendido para automotores en 12 provincias del norte argentino. Esto permitió enfrentar los precios internacionales de azúcar desfavorables. Este "Programa nacional de alconafta" se discontinuó en el país por aumento de los precios internacionales del azúcar y decisiones políticas que priorizaron la utilización del gas natural comprimido en el transporte.

En el año 1974, durante la crisis energética antes mencionada, se creó la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES). Fue formada por grupos de investigación y desarrollo iniciados en la temática de energía solar, distribuidos en dife-

rentes lugares del país, a fin de unir fuerzas y coordinar las tareas que implementaban de adaptación de las distintas tecnologías de aprovechamiento de esta fuente de energía a las condiciones locales. Impusieron como norma realizar Reuniones anuales de Trabajo en diferentes ciudades o provincias donde existiera un conjunto de profesionales dedicados al tema. En el año 1997 amplió su campo de acción, tomando el nombre actual de Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente. Su Reunión Anual Nº 40 se realizará en San Juan del 25 al 27 de Octubre de 2017.

4.2 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS DESARROLLADOS EN ARGENTINA

Los diferentes grupos de I&D de la Argentina dedicados al desarrollo de tecnologías de aprovechamiento de la energía solar han realizado aportes importantes, muchos de

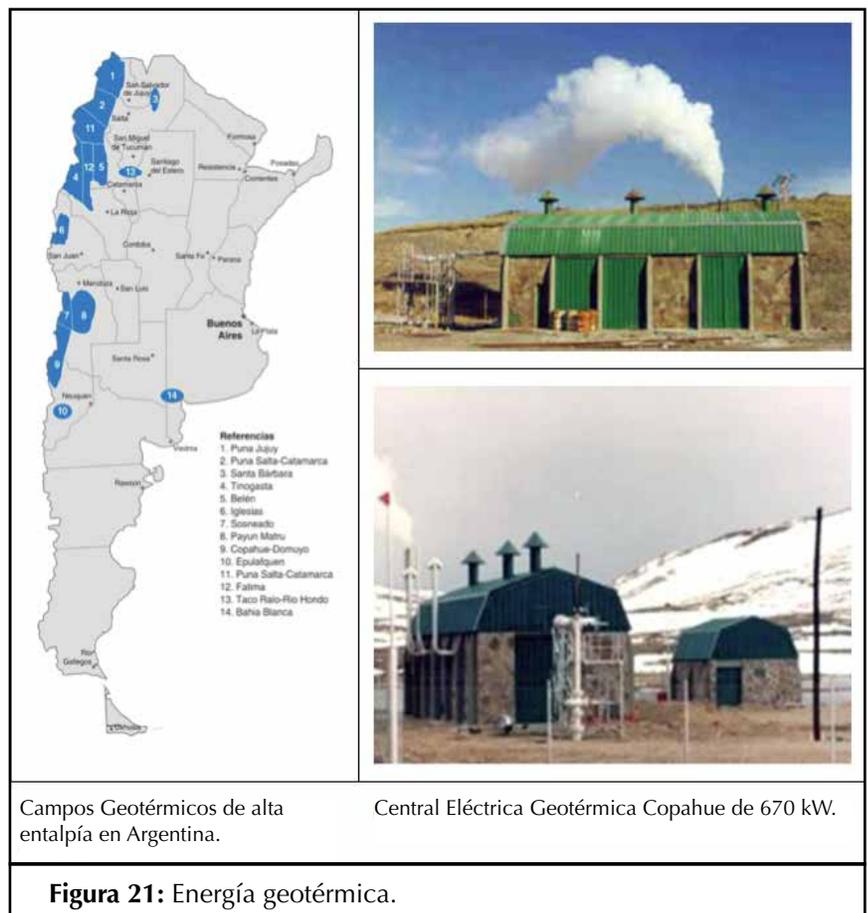




Figura 22: Invernadero utilizado en alta montaña.

ellos a nivel de pequeñas producciones que se han difundido en diferentes provincias. Así mismo hay pequeñas empresas que producen algunos de estos equipos.

Solamente se mencionarán ejemplos, aclarando que la lista no es exhaustiva, quedando muchos desarrollos sin mencionar.

A. Invernaderos.

En las zonas altas de los valles y la Puna el invernadero es usado para la provisión de hortalizas para los habitantes en general y las escuelas en particular durante el invierno ya que las bajas temperaturas reinantes, que llegan a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos, no permiten el cultivo al aire libre, por lo que se han desarrollado invernaderos de altura (tipo Andino), con paredes de adobe, que le dan mejor resistencia constructiva y mejoran la acumulación de calor y techos de plástico curvado que soporta los vientos fuertes.

B. Edificios bioclimáticos.

Para el aprovechamiento bioclimático en los edificios, el sistema más simple **es orientar las aberturas del mismo** para permitir la entrada

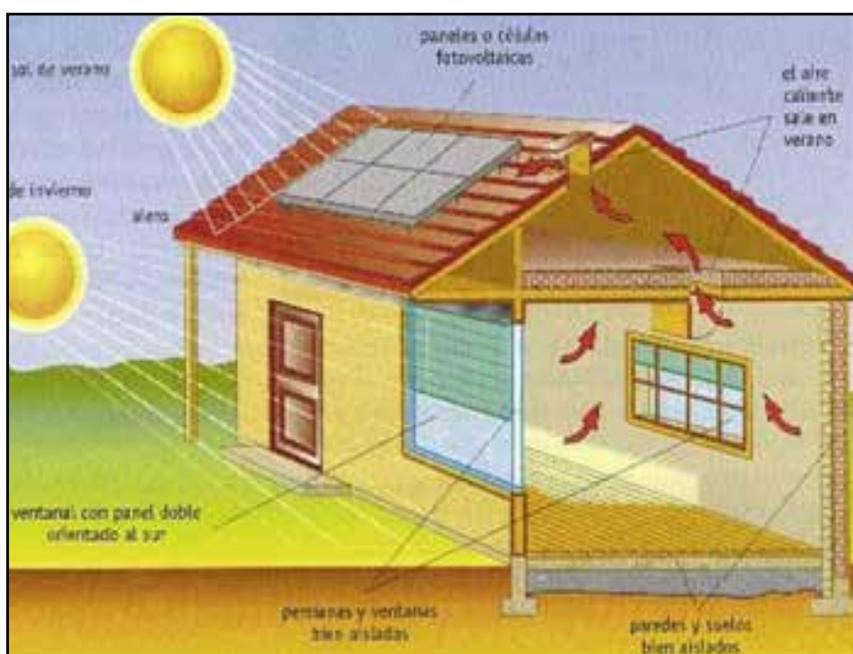


Figura 23: Ejemplo de aprovechamiento simple.

directa del sol y así calentar las paredes y el piso, como se muestra en la Figura 23 .

Un mayor aporte se consigue con los denominados Muro Trombe, como se muestra en la Figura 24. Hay numerosas de estas aplicaciones en Catamarca, La Pampa, Mendoza, Salta y Tucumán en un total de 28 edificios privados y públicos en zonas inhóspitas.

C. Cocinas solares.

Las cocinas solares son equipos que permiten cocinar alimentos usando el sol como fuente de energía. Actualmente se fomenta su uso en aquellas zonas de alta insolación con el fin de proteger el medio ambiente, mejorar el nivel de vida de los usuarios e ir sustituyendo a los combustibles convencionales cuyo costo aumenta y su disponibilidad decrece. Hay principalmente dos

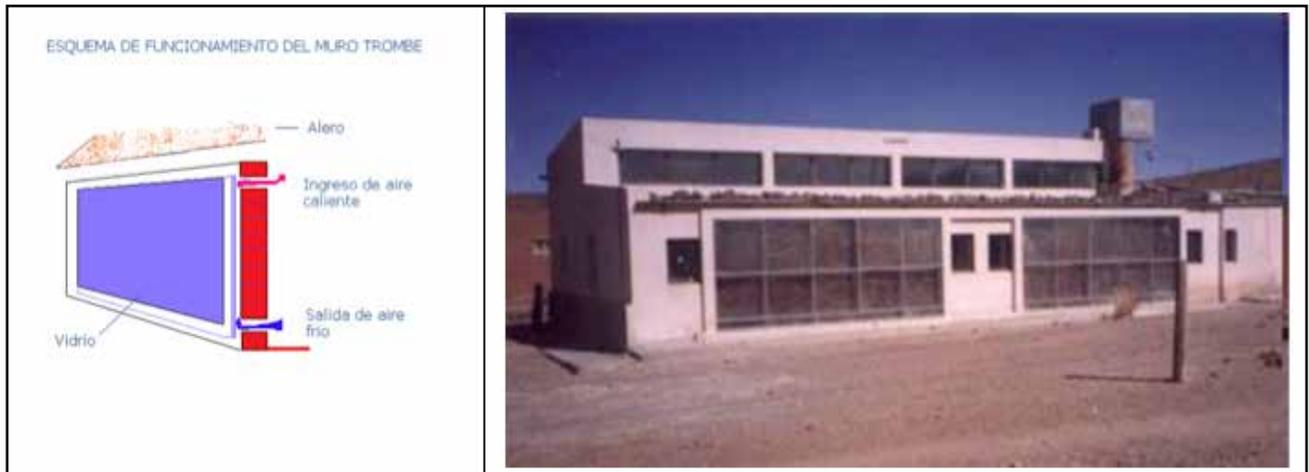
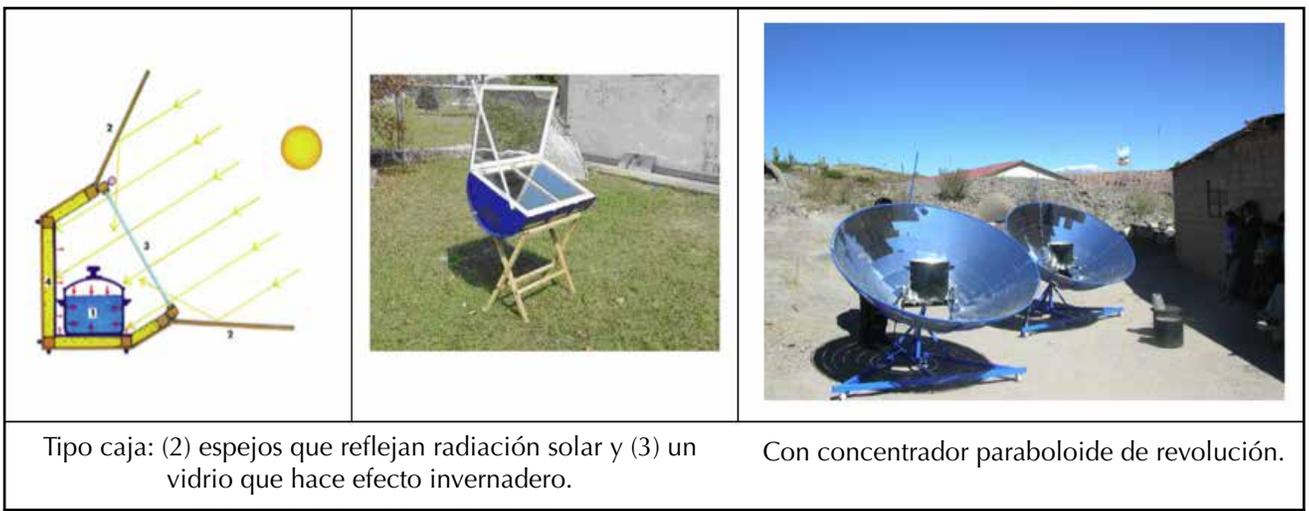


Figura 24: Puesto Sanitario en Abdón Castro Tolay (Barrancas), Provincia de Jujuy. 3.500 msnm latitud: 23° Sur. El edificio incluye la vivienda para el agente sanitario y su familia y tiene un área cubierta de 120 m².



Tipo caja: (2) espejos que reflejan radiación solar y (3) un vidrio que hace efecto invernadero.

Con concentrador paraboloide de revolución.

Figura 25: Cocinas solares.

tipos de tecnología, tipo caja (típicamente para uso familiar) y con concentración (típicamente para uso comunitario), como pueden verse en la Figura 25.

Estos tipos de cocinas fueron diseñadas y construidas por numerosos grupos y están en uso, principalmente las basadas en concentradores, en escuelas, entre otras, en provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Córdoba, Santa Fe.

D. Calefones Solares para Agua Caliente.

El agua caliente es un insumo

muy importante en viviendas, escuelas y edificios de servicio público teniendo en cuenta diversos usos como la higiene personal, la limpieza, el lavado, calefacción y otras necesidades básicas que impactan sobre la calidad de vida. Por ello el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva en muchos países. Numerosos grupos de I&D y empresas argentinas han desarrollado estos equipos, desde modelos muy rudimentarios hasta aparatos sofisticados con tubo de vacío y heat pipe, como se pueden ver en

la Figura 26.

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI, dispone de una Plataforma de Energía Solar Térmica para la evaluación de colectores solares para agua caliente sanitaria que se comercializan en el país para certificarlos.

E. Secado solar de productos agropecuarios.

Los secadores solares son dispositivos que permiten la evaporación y extracción del agua contenida en diferentes productos para su preservación por periodos prolongados.



Figura 26: Calefones Solares para Agua Caliente.

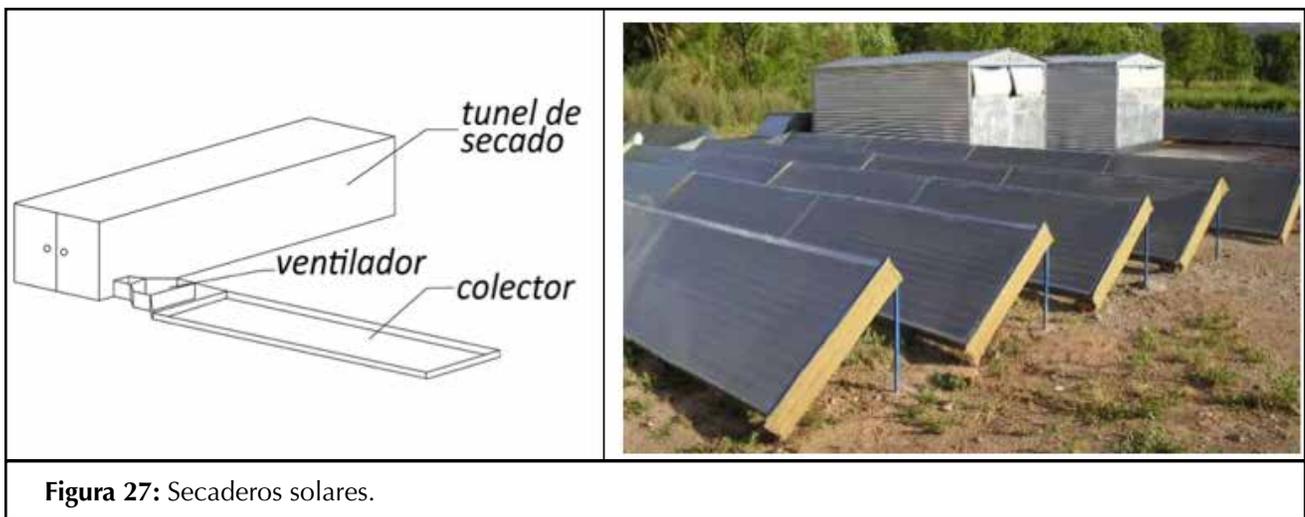


Figura 27: Secaderos solares.

Las dos partes más importantes son el sistema de calentamiento solar del aire y la cámara de secado, como puede verse en Figura 27

Hay producción artesanal de estos equipos que se comercializan en zonas de Chaco, Salta, San Luis, para secado de diversos productos

F. Destiladores de agua.

Los destiladores solares tipo invernadero permiten obtener agua pura a partir de aguas salinizadas. Consisten en una bandeja oscura donde se coloca el agua salada, con un techo de vidrio a dos aguas con poca pendiente. La radiación solar

se absorbe en dicha bandeja, calienta el agua y produce su evaporación quedando las sales concentradas en el fondo. El agua evaporada se condensa en la cubierta de vidrio por donde escurre y se recoge en canaletas que la llevan al exterior donde se colecta, como puede verse Figura 28. Existen diversos modelos

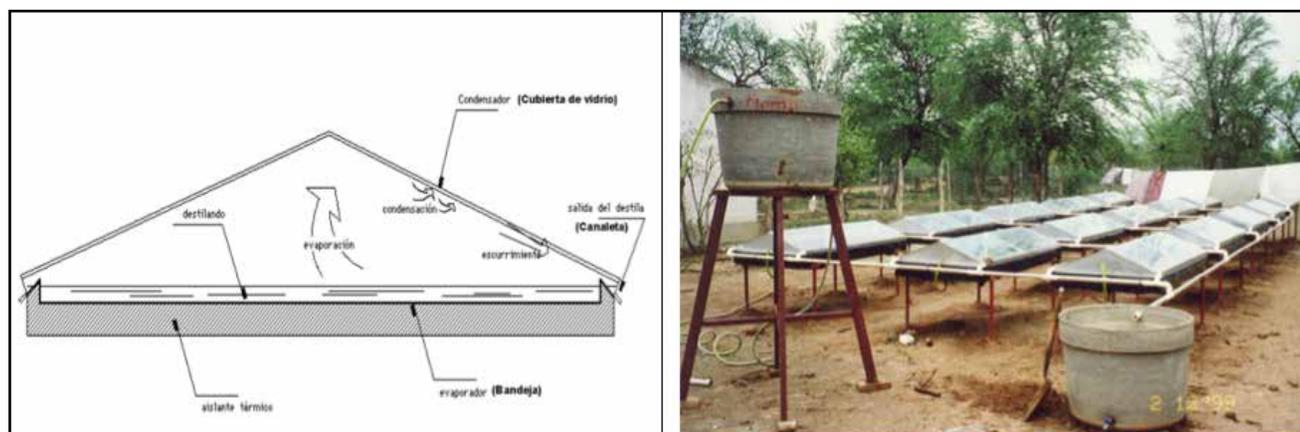


Figura 28: Destilador de agua.



Figura 29: Ejemplos de instalaciones fotovoltaicas en zonas cubiertas por PERMER.

y se emplean sobre todo en lugares donde el agua tiene alto contenido de arsénico.

4.3 PROYECTO ENERGÍAS RENOVABLES EN MERCADOS RURALES. PERMER

Es un proyecto de alto contenido social, cuyo objetivo es atender al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales disper-

sas, contribuyendo al alivio de la pobreza en las mismas. Se desarrolló durante la década del 90 en la Secretaría de Energía, inaugurándose oficialmente en 1999 al concretarse un préstamo del Banco Mundial.

Tuvo como objetivo primario el abastecimiento de electricidad a hogares rurales, que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía. Posterior-

mente se agregó el abastecimiento térmico en agua caliente, calefacción y cocción, fundamentalmente a las escuelas.

En la Figura 29 se muestran algunas instalaciones de sistemas fotovoltaicos tanto en casa particulares como en escuelas.

Se resumen los aportes recibidos en los denominados PERMER I y II.

➤ **PERMER I:** Préstamo del Banco Mundial de 30 MUSD

Una donación de 10 MUS\$ del Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF).

El proyecto está en operación desde Octubre de 1999 y finalizó en el año 2009.

➤ El BIRF otorgó una ampliación del préstamo por 50 MUSD permitiendo extender el PERMER I hasta el año 2011.

➤ **PERMER II:** En 2015 el Banco Mundial otorgó 200 MUSD para una segunda etapa del PERMER.

Cuenta además con Fondos Eléctricos u otros fondos Provinciales y

aportes de los concesionarios provinciales y de beneficiarios,

El desarrollo del PERMER I hasta el 2017 ha cubierto las siguientes aplicaciones

Servicio eléctrico:

Con fotovoltaico

- 25.071 viviendas
- 1.894 escuelas
- 361 otros servicios públicos
- 21 proyectos de miniredes

❖ Buenos Aires, Catamarca, Corrientes, Córdoba, Chaco, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Misiones, Neuquén, Salta, San Juan, Santa Cruz, Sgo. del Estero, Río Negro, Tucumán

Con eólico

- 1.615 viviendas

❖ Chubut

Servicio Térmico

- 257 sistemas termosolares en escuelas y servicios públicos que se utilizan para la cocción de alimentos y para agua caliente sanitaria.

En la Tabla 2 se resumen el estado actual de la marcha del PERMER

Tabla 2: Programa PERMER II.

Provincia	Número de equipos	Wp
Catamarca	937 ^{&}	121.810
Corrientes	700 [*]	140.000
Chaco	714 ^{&}	92.820
Entre Ríos	480 ^{&}	62.400
La Pampa	256 ^{&}	33.280
Neuquén	681 [*]	136.200
Río Negro	1.769 [*]	353.800
Salta	2253 [*]	532.240
	628 ^{&}	
San Juan	106 [#]	30.900
Santa Cruz	660 [*]	132.000
Tucumán	698 [*]	139.600
TOTAL	9.882	1.775.050

* 200 Wp c/equipo
 & 130 Wp c/equipo
 # 300 Wp c/equipo

Tabla 3: Programa GENREN. Resumen centrales licitadas, proyectos adjudicados y construidos (Ref ^[13]).

Fuente	Licitada MW	Presentada MW	Proyectos Adjudicados	Potencia Adjudicada	Rango USD/MWh	Precio Adjudicado	Proyectos Construidos	Potencia Instalada MW
Eólica	500	1182	17	754	121-134	126,9	3	131
Térm Biocombustibles	150	155	4	110,4	258-297	287,6	-	-
RSU	120	-	-	-	-	-	-	-
Biomasa	100	53	-	-	-	-	-	-
PAH	60	10	5	10,6	150-180	162,4	1	1
Geotérmica	30	-	-	-	-	-	-	-
Solar térmica	25	-	-	-	-	-	-	-
Biogás	20	-	-	-	-	-	-	-
Solar Fotovoltaica	20	22	6	20	547-598	571,6	3	7
Total	1025	1422	32	895	-	7	139	

PAH: Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos. RSU=Residuos Sólidos Urbanos.

ll en diferentes provincias.

4.4 PROGRAMA GENREN.

En el año 2009 se realizó una Licitación Pública Nacional e Internacional (programa GENREN) para la generación de electricidad en centrales de potencia conectadas a la red. El programa fue anunciado por la Secretaria de Energía de la Nación e implementado a través de ENARSA^[12]. En la Tabla 3 se resumen las centrales licitadas por tipo de fuente, los proyectos adjudicados y los sistemas instalados. Del total de 895 MW adjudicados se concretaron 139 MW, debido fundamentalmente a problemas de financiación de las instalaciones.

4.5 PLAN DE ENERGÍA RENOVABLES ARGENTINA 2016-2025. RENOVAR.

En 2016 el Ministerio de Energía y Minería realizó una convocatoria abierta nacional e internacional para la provisión de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en el mercado eléctrico mayorista (MEM). En la Tabla 4 se resumen los proyectos adjudicados en las rondas 1 y 1,5 realizadas durante el año 2016.

Se han adjudicado 59 proyectos con una potencia total de 2.423.5MW, con costos promedio de 61,33 UDS por MWh para la primera Ronda y 53,98 USD por MWh para la segunda.

En el año 2017 se realizó un nuevo llamado por un total de 1.200 MW, que todavía está abierto para presentación de postulantes. La característica del mismo es que se ha regionalizado para los sistemas basados en energía solar (NOA y Cuyo) y eólica (Comahue, Patagonia y Buenos Aires).

Tabla 4: Ronda 1 y 1,5 Plan RenovAR.

Fuente	MW
Ronda 1 - 29 proyectos	61,33 UDS/MWh
Eólico	707,5
Solar	400
Biomasa	14,5
Hidro	11,4
Biogas	8,6
<i>SubTOTAL</i>	<i>1.142</i>
Ronda 1,5 - 30 proyectos	53,98 UDS/MWh
Eólico	765,4
Solar	516,2
<i>SubTOTAL</i>	<i>1.281,5</i>
TOTAL 59 proyectos	2.423,5

Tabla 5: Programa RenovAr-2017. Nuevo llamado por 1.200 MW.

Tecnología	Eólica	Solar Fotovoltaica	Biomasa	Biogás	Biogás de Relleno Sanitario	PAH
Potencia Requerida por Tecnología	550 MW	450 MW	100 MW	35 MW	15 MW	50 MW
Potencia Requerida por Región	Comahue 200 MW Patagonia 200 MW Buenos Aires 200 MW Resto Eólica 100 MW La sumatoria de Comahue, Patagonia y Buenos Aires no podrá superar los 450 MW	NOA 200 MW Cuyo 200 MW Resto 100 MW Solar La sumatoria de NOA y Cuyo no podrá superar los 350 MW	N/A		N/A	N/A

4.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS A 2017.

En la Tabla 6 se resumen todas las instalaciones fotovoltaicas instaladas actualmente. Se considera en forma grupal las instalaciones PERMER, las rurales fuera de este pro-

grama y las pequeñas instalaciones en industria; en los sistemas conectados a la red se incluyen los sistemas aislados (<5 MW)^[14].

La Argentina tiene la mayor parte de su consumo eléctrico concentrado en los centros urbanos (el Área

Metropolitana Buenos Aires, por ejemplo, consumió en 2014 el 38% de la demanda eléctrica del país), junto con una gran extensión territorial. Dadas estas características, la utilización masiva de generación con fuentes renovables distribuidas en áreas urbanas y periurbanas contribuiría al uso eficiente de la energía al reducir las pérdidas por transporte. La idea es la posibilidad de que usuarios domiciliarios, ya sean residenciales, industriales o comerciales, tengan generadores en base a estas fuentes e inyecten energía limpia a la red. A través del concepto de redes inteligentes se puede así optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico y el usuario final administrar y gestionar su consumo en forma racional.

En la Figura 30 se muestra como ejemplo algunas de las centrales fotovoltaicas conectadas a la red y en la Figura 31 algunos de los sistemas aislados instalados actualmente en operación.

Actualmente sólo se fabrican en Argentina paneles fotovoltaicos a partir de celdas importadas. Se conocen tres empresas que venden como producción propia paneles para usos energéticos.

- **SOLARTEC S.A.**
- **LV Energy.** San Luis
- **Ledlar Sapem,** La Rioja

Además el Laboratorio de Integración de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) produce paneles especiales para alimentar los satélites argentinos en base a celdas importadas de tres capas de

Fosforo de Galio e Indio, Arseniuro de Galio y Germanio; la misión satelital argentina Aquarius/SAC-D (2011-2015) llevó los paneles solares producidos por CNEA y la próxima misión SAOCOM tiene los paneles ya listos. Asimismo fabrica celdas de Si para uso como Solarímetros.

Tabla 6: Sistemas fotovoltaicos totales instalados a 2017.

Instalaciones	Provincia	Potencia (MW)	Año
Sistemas aislados			
PERMER	Diversas	23,9	Desde 1999
Rural (sin PERMER)	Diversas		
Industrial	Diversas		
Sistemas conectada a la red			
Pequeñas (<0,5 MW)	Diversas	6	
San Juan I	San Juan (Ullum)	1,3	2011 (&)
Cañada Honda I	San Juan	2,2	2012 (*) (&)
Cañada Honda II	San Juan	3,4	2012 (*) (&)
La Chimbera I	San Juan	2,3	2013 (*) (&)
Terraza de Portezuelo	San Luis	1	2014
San Lorenzo	Santa Fe	1	
SubTOTAL centrales		17,2	
TOTAL		41,1	

(*) Centrales adjudicadas en GENREN.
(&) Comercializa energía con CAMMESA.

Tabla elaborada por el autor.



Figura 30: Ejemplo de centrales fotovoltaicas.

Figura 31: Ejemplo de sistemas aislados conectado a la red.

La provincia de San Juan tiene en marcha una planta de integración vertical de fabricación de paneles fotovoltaicos partiendo desde silicio obtenido del cuarzo de la provincia; están programadas cuatro líneas de producción capaces de elaborar un total de 235 mil paneles solares por año de 300 W cada uno.

4.7 SISTEMAS EÓLICOS INSTALADOS A 2017.

Durante la década del 90 se instalaron aerogeneradores de potencia principalmente por parte de Cooperativas como puntas de línea para elevar tensión e impulsado por la Ley 25.019/1998^[15] (Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar) que remuneraba 0,015 \$/kWh por electricidad generada por sistemas eólicos, que en ese momento equivalía a pago en dólares. Al salirse de la convertibilidad en el año 2001 no se continuaron las instalaciones salvo algunos casos aislados. Del Programa GENREN, antes mencionado, se concretaron solo 3 centrales y algunas provincias instalaron centrales como parte de su programa de impulso de energías renovables. En la Tabla 7 se resumen las instalaciones eólicas realizadas, que en total presentan una potencia de 278 MW.

En la Figura 32 se muestran algunas de las centrales eólicas en operación.

4.8 BIOENERGÍA.

La ley 26.093 /2006 “Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles” estableció la mezcla de Gasoil o diesel oil con “biodiesel” (por Resolución Nº 1125/2013 la mezcla actual es del 10 % [B10]) y mezcla de Nafta con “bioetanol” (por Decreto 543/16, la mezcla es del 12% [E12]).

Tabla 7: Centrales eólicas instalados conectadas a la red.

Provincia	Localidad	Puesta en servicio	Potencia total (MW)	Nº maquinas MW
Chubut	Comodoro Rivadavia	1994	0,50	2 x 0,25
	Rada Tilly	1996	0,40	1 x 0,4
	Comodoro Rivadavia	1997	6,00	8 x 0,75
	Comodoro Rivadavia	2001	10,60	16 x 0,66
	Comodoro Rivadavia	2011	3,00	2 x 1,5
	Diadema	2011	6,30	7 x 0,9
	Rawson I y II (#)	2011-2012	77,40	43 x 1,8
	Loma Blanca (#)	2013	51,00	17 x 3
Buenos Aires	Pehuen Co	1995	0,40	1 x 0,4
	Tandil	1995	0,80	2 x 0,4
	Mayor Buratovich	1997	1,20	2 x 0,6
	Darregueira	1997	0,75	1 x 0,75
	Punta Alta (bajo hondo)	1998	1,80	3 x 0,6
	Claromecó	1998	0,75	1 x 0,75
Santa cruz	Pico Truncado	2001	1,20	2 x 0,6
	Pico Truncado	2005	1,20	2 x 0,6
Neuquén	Cutral Co	1994	0,40	1 x 0,4
La Pampa	Gral. Acha	2002	1,80	2 x 0,9
San Juan	Mina Veladero	2008	2,00	1 X 2
La Rioja	Parque Arauco	2012-2017	102,40	24 x 2,1, 26 x 2
S del Estero	El Jume	2015	8,00	4 x 2
TOTAL			277,86	

(#) GENREN.
Tabla elaborada por el autor.

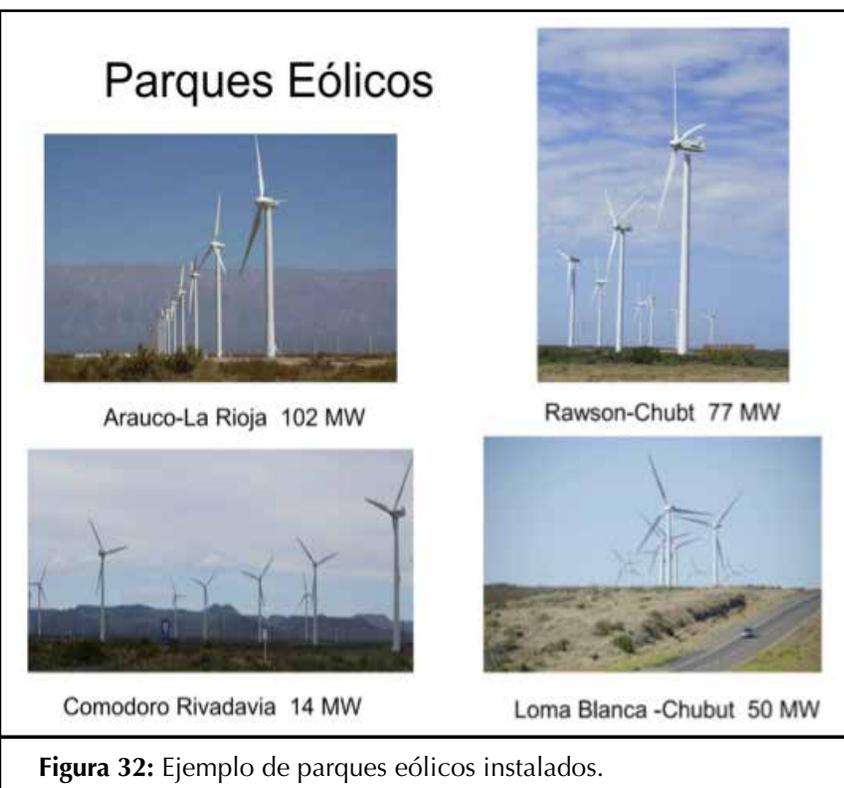


Figura 32: Ejemplo de parques eólicos instalados.

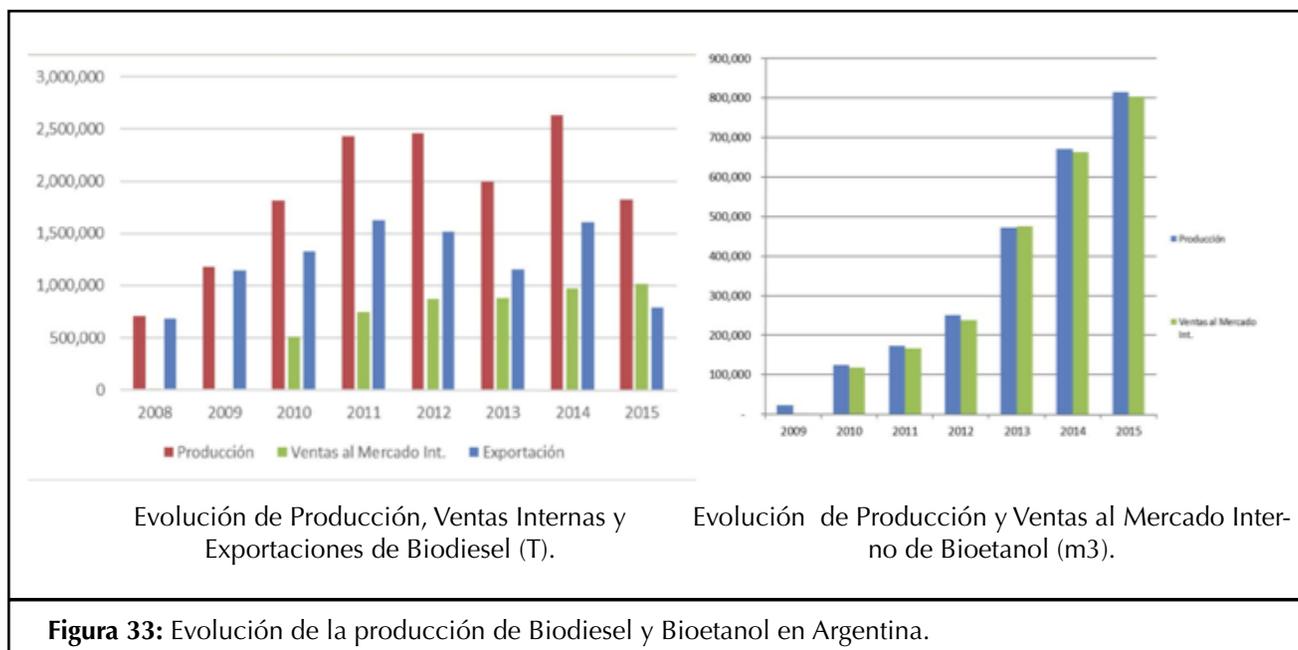


Figura 33: Evolución de la producción de Biodiesel y Bioetanol en Argentina.

Tabla 8: Proyectos bioenergéticos identificados.

Provincia	Cartera		Construcción		Operativo		Total	
	Nro.	MW	Nro.	MW	Nro.	MW	Nro.	MW
Misiones	8	85	2	5	10	112	20	202
Tucumán	4	93	2	70	4	11	10	174
Buenos Aires	13	48	0	0	11	91	24	138
Santa Fe	8	51	3	1	12	64	23	116
Corrientes	4	74	1	0	5	17	10	91
Entre Ríos	10	52	0	0	4	7	14	60
Córdoba	13	35	4	13	5	11	22	59
Jujuy	1	5	0	0	3	52	4	57
Chaco	3	47	0	0	2	5	5	52
Salta	0	0	0	0	1	40	1	40
Mendoza	2	35	0	0	0	0	2	35
San Luis	1	1	1	2	2	25	4	27
Neuquén	1	3	0	0	0	0	1	3
Formosa	1	2	0	0	1	0	2	2
La Pampa	3	1	0	0	3	1	6	2
Chubut	1	2	0	0	0	0	1	2
Catamarca	1	2	0	0	1	0	2	2
San Juan	0	0	1	1	1	1	2	1
Tierra del Fuego	2	1	0	0	0	0	2	1
Santiago del Estero	0	0	0	0	1	0	1	0
TOTAL	76	537	14	91	66	436	156	1064

La producción nacional de ambos biocombustibles hasta el año 2015 se muestra en la Figura 33 producida por la Asociación Argentina de Biocombustible e Hidrógeno.

En 2016 y 2017 (estimado) hubo un crecimiento de la producción de Biodiesel y la de Bioetanol siguió aumentando.

En el año 2012 fue creado PRO-BIOMASA S.A., Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa, que no incluye los biocombustibles, conformado por

- Ministerio de Energía y Minería
- Ministerio de Agroindustria
- Con la asistencia técnica y administrativa de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Actualmente tienen en marcha un estudio de "Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina", a través de WISDOM (siglas en inglés de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Den-

drocombustibles - Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping) desarrollada por FAO, con datos de campo relevados por las provincias.

Están realizando un Banco de Proyectos que tiene como objetivo dar a conocer la gran diversidad de proyectos bioenergéticos existentes en todo el país, y de esta forma, evidenciar el uso de la biomasa con fines energéticos y el gran potencial de esta fuente de energía. En la Tabla 8 se presentan de Ref^[17], por provincias, los proyectos identificados: 76 en cartera, 14 en construcción y 66 en operación.

4.9 ASPECTOS LEGALES

A nivel nacional sólo se tienen tres leyes resumidas en la Tabla 9.

La Ley 27.191 cubre la generación de electricidad con fuentes renovables en sistemas conectados a redes y determina que para el corriente año se debería generar el 8% del total del país y para el año 2025 el 20 %. Evidentemente no se cumple actualmente con lo determinado por la ley; por ejemplo consi-

derando la generación del año 2015 que fue de 136.870 GWh^[17], el 8 % corresponde a 10.949,6 GWh y se generó en ese año 608 GWh con aporte solar más eólico^[16] (que correspondió a 195 MW instalados). De concretarse todas las instalaciones adjudicadas en RenovAr (ver Tabla 4) y del nuevo llamado (ver Tabla 5) tendríamos instalados un total de 3.553,5 MW, y la electricidad generada a lo largo del año se aproximará a lo que fija la Ley.

En particular la ley 27.191 establece para los grandes usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista y los Grandes demandantes, que sean clientes de los prestadores del Servicio Público de Distribución o de los Agentes distribuidores, con valores de potencia iguales o mayores a trescientos kilovatios (300 kW), deberán cumplir efectiva e individualmente con los objetivos porcentuales antes mencionados. Dichos usuarios representan aproximadamente el 30 % del total de la demanda.

La Ley 26.093 ya fue comentada anteriormente.

La ley 26.123 para el desarrollo

Tabla 9: Leyes nacionales vigentes.

<i>Electricidad</i> <i>Ley 27.191/2015</i> <i>Decreto 531/2016</i>	Fomento para el Uso de FRE destinada a la generación Eléctrica en centrales para el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) o servicios públicos.
<i>Biomasa</i> <i>Ley 26.093 /2006</i> <i>Decreto 109/2007</i>	Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles.
<i>Hidrogeno</i> <i>Ley 26.123/2006</i> <i>Sin Reglamentar</i>	Para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del Hidrogeno como combustible y vector de energía.

de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del Hidrógeno como combustible y vector de energía todavía no fue reglamentada, aunque se trabajó en la misma durante el año 2014 en la Secretaría de Energía, pero nunca se publicó.

Tiene media sanción de la Cámara de Diputados de la Nación una ley de generación distribuida de electricidad y se espera que antes de fin de año sea aprobada por la Cámara de Senadores.

Hay desde hace varios años en la Cámara de Senadores de la Nación un proyecto de ley para generación de energía térmica a partir de energía solar.

Cabe mencionar que se requieren leyes específicas para el uso de energía geotérmica, dado que actualmente se aplican las leyes mineras, y hay todo un vacío respecto a las energías del mar.

Existen a nivel provincial leyes generales de apoyo a las energías renovables, así como algunas particulares para la generación distribuida de electricidad. En algunos Municipios se han sancionado leyes para el calentamiento de agua para uso sanitario a partir de energía solar.

4.10 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS Y EXTERNALIDADES AMBIENTALES Y SOCIALES.

El accionar del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva es fundamental para el aporte de tecnología nacional al proceso de modificación de la matriz energética. Se debe continuar con la política de complementar y coordinar esfuerzos entre sectores de ciencia y tecnología, públicos y privados, y sectores productivos, en particular las PyMEs, para que las

innovaciones energéticas y ambientales que se produzcan en este marco tengan una real inserción en las necesidades del país y se conviertan en un producto o servicio nuevo o mejorado en el mercado.

Esto debe ir acompañado de un programa integral de formación de recursos humanos especializados. Actualmente a nivel profesional hay varios posgrados a nivel Maestrías y Doctorado en energías renovables y otros donde el tema forma parte de las mismas, en varias Universidades del país, pero es necesario que se introduzca a nivel de grado la temática, en todas las diferentes carreras tanto técnicas como sociales. Asimismo es indispensable la formación a nivel técnico, tanto para la instalación de los sistemas como para el mantenimiento de los mismos, infraestructura humana indispensable para llevar adelante con éxito el programa que impone el cumplimiento de la ley 27.191 para los próximos 10 años.

Se debe trabajar en la internalización de las externalidades ambientales negativas relacionadas con la generación con combustible fósil, que en la práctica es equivalente a un subsidio a la oferta.

Asimismo se deben destacar las externalidades positivas desde el punto de vista social, de las energías renovables ya que conlleva a la creación de empleos calificados en la medida que se fabriquen en el país no sólo los sistemas sino también los diferentes componentes, así como los procesos de montaje y mantenimiento.

■ REFERENCIAS

1 http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/170607_GSR_2017_Full_Report.pdf

2 <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>

3 http://www.irena.org/REview/ReView_Oct2016_1_ES_04.pdf

4 REN 21 - GFR-Full-Report-2017.pdf

5 <https://www.iea.org/bookshop/708-Medium-Term-Renewable-Energy-Market-Report-2015>

6 http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf

7 The concentrating solar power-global market initiative. ESTIA (European Solar Thermal Industry Association), IEA SolarPACES Implementing Agreement. SEIA (U.S. Solar Energy Industries Association) Solar Thermal Power Division.

8 Se considera dentro del sector de Energías Renovables no Convencionales a las centrales hidráulicas con potencia igual o menor a 50 MW.

9 Ocean Energy. Technology readiness, patents, deployment status and outlook. International Renewable Energy Agency. August 2014. <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=445>.

10 Infoleg. Decreto 2.247/85. Buenos Aires: Información legislativa y documental. Ministerio de Economía, 2014.

11 "Perspectivas de los Biocombustibles en la Argentina y en Brasil", SAGPyA / IICA - Buenos Ai-

- res, Octubre de 2005.
- 12 ENARSA Energía Argentina S.A.
- 13 Tabla elaborada por la Cámara Argentina de Energías Renovables CADER. 2015.
- 14 Ambos datos fueron aportados por Ing. Alejandro Zitzer.
- 15 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/50000-54999/53790/norma.htm>. Cabe acotar que en ese momento los costos de los sistemas solares eran muy elevados por lo que sólo se instalaron sistemas eólicos.
- 16 <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/presentaciones/2016/Miguel-Almada.pdf>
- 17 <http://portalweb.cammesa.com/documentos%20compartidos/informes/informe%20anual%202015.pdf>

ENERGÍAS RENOVABLES, BIOCOMBUSTIBLES Y MICROALGAS MARINAS

Palabras clave: Biocombustibles, microalgas, diatomeas marinas.
Key words: Biofuels, microalgae, marine diatoms.

Ante la realidad del Cambio Climático y el posible agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, el desarrollo científico y tecnológico de fuentes de energía renovables ha cobrado una singular relevancia. En este contexto, se realiza una síntesis de la situación actual vinculada con las emisiones de CO₂, la relación entre el petróleo y el biodiesel derivado de microalgas y las ventajas de estas últimas sobre las plantas terrestres. Particularmente, se destacan los atributos de las diatomeas marinas, uno de los grupos de microalgas más exitosos evolutiva y ecológicamente, y su importancia como fuente de desarrollo de biocombustibles y nanotecnología.

■ Viviana A. Alder

Instituto Antártico Argentino (DNA-MRECIC) e IEGEBA (UBA-CONICET).
Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

E-mail: viviana.alder@gmail.com

In the face of Climate Change and the likely depletion of fossil fuel reserves, the scientific and technological development of renewable energy sources has become particularly important. In this context, a summary of the current situation as to CO₂ emissions, relationships between oil and microalgae-derived biodiesel, and the benefits of the latter over terrestrial plants is presented. Particular emphasis is given to the features of marine diatoms, one of the most evolutionary and ecologically successful groups of microalgae and to their significance as a source of both biofuel and nanotechnology development.

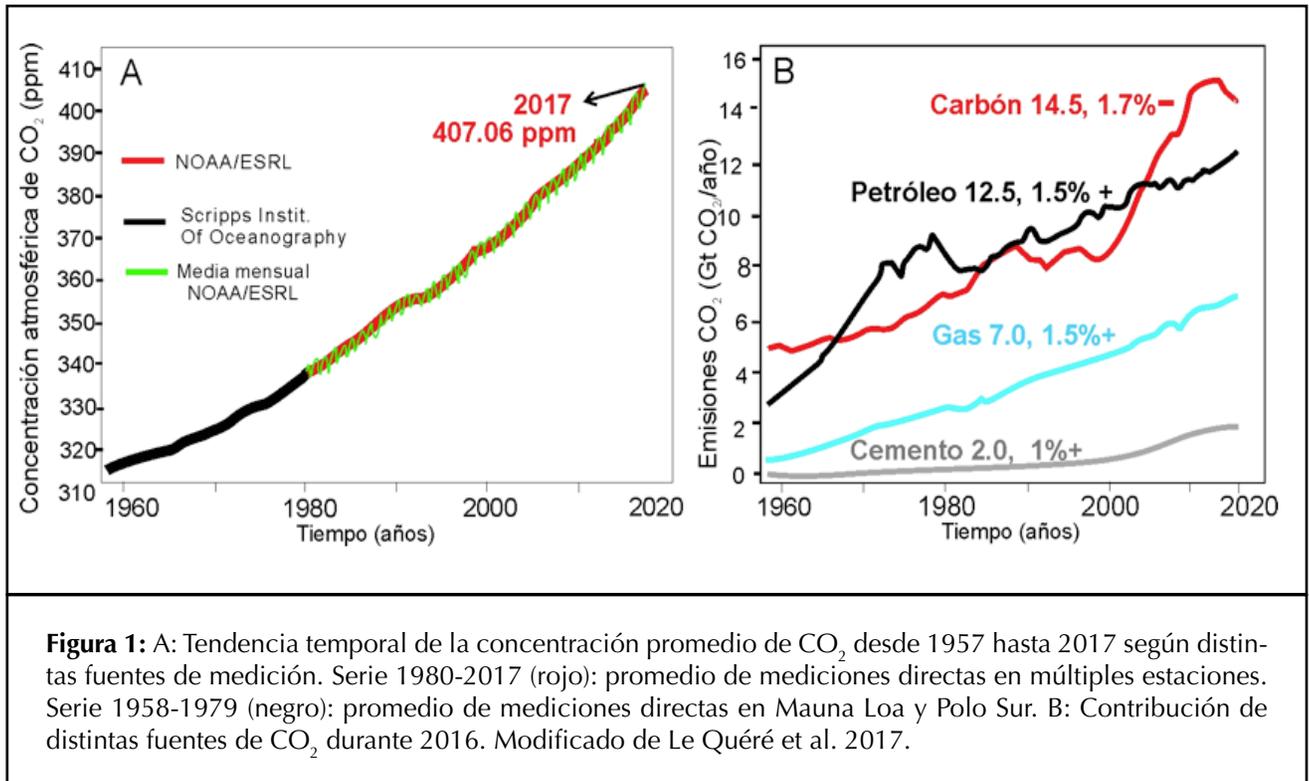
■ EL ESTADO DE LA “CASA”.

¿Gastamos más de lo que tenemos o gastamos mal lo que tenemos? Tal sería el concepto que trata de expresar la organización Global Footprint Network, definiendo además el “Día del Exceso de la Tierra”, vale decir la fecha en que la humanidad agota el presupuesto anual del planeta. Lamentablemente, ese día no es fijo: en 2017 fue el 2 de agosto, pero cada año se celebra varios días antes. Es evidente que hemos superado los límites de consumo y de generación de residuos. Por ende, enfrentamos una crisis con centros de acción múltiples, complejos y entrelazados: la disminución acelerada de los recursos naturales asociada a un incremento de la contaminación por dióxido de carbono (persistente a largo pla-

zo), la disminución de la diversidad biológica y funcional, la pérdida de hábitat y de calidad de los suelos, del agua y del aire. Y sumado a todo esto, el Cambio Climático. Preservar el clima global frenando el incremento de la temperatura media es uno de los mayores desafíos colectivos que enfrenta la humanidad, y que sólo puede solucionarse en forma coordinada (Tavoni et al. 2011). Los beneficios de la reducción de emisiones son compartidos por todos, independientemente de las contribuciones individuales.

No obstante su incertidumbre, las proyecciones climáticas sugieren que el incremento de la temperatura podría acelerarse aún más si todo sigue como hasta ahora (Cox et al. 2000; Friedlingstein 2015). El reciente estudio de Le Quéré et al.

(2017) concluye que la concentración promedio global de CO₂ sigue aumentando (de ~277 ppm en 1750 a 403 ppm en 2016, Figura 1A). La tasa de incremento de CO₂ durante la última década (2007–2016) se atribuye a dos fuentes principales: la actividad industrial y la quema de combustibles fósiles (88%: 34,4 Gt CO₂/año), y los cambios en el uso del suelo (12%: 4,8 Gt CO₂/año). Los sumideros de estas emisiones son la atmósfera (44%), la tierra (28%) y el océano (22%). Considerando la serie histórica de datos, la primera vez que los valores se sostuvieron por encima de 400 ppm fue durante todo el año 2016 (Le Quéré et al. 2017), lo cual fue atribuido mayormente a emisiones derivadas del carbón (40%), petróleo (34%), gas (19%), la industria del cemento (6%) (Figura 1B), y a los efectos residua-



les del evento El Niño 2015/2016 (1%: incendios, no ilustrado). Para el 2017, todo indica un incremento de un 2% respecto de 2016.

Significativamente, las palabras “economía” y “ecología” tienen la misma raíz etimológica (*oikos* = casa). Después de varias idas y venidas dentro de la misma “casa”, hemos comenzado a entender cómo funciona y a aprender a administrarla. El escenario general implica inversiones muy costosas para mantener en funcionamiento a ecosistemas alterados de los cuales tenemos estricta dependencia. Requerimos de energía para restaurar lo que ya es disfuncional, aunque en muchos casos no contamos con líneas de base para poder devolver el equilibrio original a los ecosistemas, si es que esto aún es posible. Las distintas fuentes de energía derivan de recursos naturales considerados inagotables o renovables (viento, sol, biomasa, agua en movimiento, calor) o aparentemente finitos y no renovables (petróleo, gas, carbón, uranio).

Y esas mismas fuentes o los productos de su transformación se clasifican en formas de energía: primarias (hidráulica, nuclear, eólica, solar, gas, petróleo carbón mineral, leña y residuos de materia orgánica, aceites y alcoholes vegetales) o secundarias (energía eléctrica, gas licuado, naftas, gasoil, diesel oil, carbón de leña, biodiesel, bioetanol, etc.).

No hay cielo sin nubes. Cualquier mecanismo de producción de energía genera un impacto en el ambiente. De hecho, y aunque las energías renovables sean percibidas como una alternativa más segura y menos contaminante que las derivadas de combustibles fósiles, aún están lejos de ser una panacea (Abbasi y Abbasi 2000). El caso más emblemático son las mega-represas asociadas a proyectos hidroeléctricos, con conocidos impactos sociales, culturales, paisajísticos y ambientales (Deemer et al. 2016). La energía derivada de la biomasa implica, entre otros aspectos, cambios en el uso del suelo, quizás el recurso no

renovable más precioso por estar estrechamente vinculado a la seguridad alimentaria global. Tal como lo indica la FAO (2015), los sistemas alimentarios y energéticos del futuro deberán ser más eficientes, debiendo debatirse los asuntos relacionados a combustibles y alimentos en forma conjunta.

Debido a esto y a otras causas que exceden el alcance de este artículo, todos los caminos parecen conducir a Roma: debemos investigar y desarrollar fuentes de energía alternativas renovables, minimizando los impactos ambientales y maximizando los beneficios para la sociedad (seguridad climática, energética, alimentaria y sanitaria), la conservación de las especies y los valores culturales. En ningún caso estos procesos son mutuamente excluyentes. El desarrollo, la operación y el mantenimiento de estos emprendimientos implicará, en distintos grados, la fragmentación del hábitat, la aparición de barreras que alteran el desplazamiento de las es-

pecies y los flujos génicos, el debilitamiento de los ecosistemas ante los disturbios (incendios, sequías, inundaciones, invasiones de otras especies), el incremento del ruido, y la generación de microclimas y campos electromagnéticos, entre otros efectos. Por lo tanto, es imperativo contemplar su beneficio y su costo en distintas escalas y esferas de acción, enfatizando en los cambios asociados al complejo funcionamiento de los ecosistemas.

Afortunadamente, cada vez son más los países que parecen estar tomando conciencia sobre este tema.

■ LOS AVATARES DEL CARBONO

El carbono es el elemento dominante de la materia orgánica. El ciclo del carbono es un proceso biogeoquímico que implica su intercambio entre distintos reservorios interconectados (Rackley 2017). El movimiento o intercambio entre reservorios ocurre mediante una gran variedad de procesos biológicos, geológicos, físicos y químicos, en escalas temporales que van desde segundos (fotosíntesis de los vegetales, respiración de vegetales y animales) a miles o millones de años (formación de hidrocarburos fósiles). Estas diferencias definen, por un lado, un "ciclo rápido" vinculado con el intercambio entre la superficie del océano, la atmósfera (el reservorio más pequeño y vulnerable), la capa superficial del suelo y la biósfera terrestre, y por otro lado un "ciclo lento" relacionado con la circulación en el océano profundo, la conversión del CO₂ oceánico disuelto en carbonatos y luego en rocas, los movimientos tectónicos y la liberación de CO₂ a la atmósfera mediante actividad volcánica. Alteraciones tales como la deforestación, el uso excesivo del suelo, los incendios y la contaminación (ciclo rápido) o la extracción y quema del carbono

almacenado en los combustibles fósiles (ciclo lento), alteran los flujos y el estado de equilibrio natural, con una influencia significativa en la dinámica del ciclo global del carbono, potenciando así el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y océanos, y afectando al sistema climático global.

El petróleo, entonces, pertenece a la dinámica del ciclo lento del carbono. Pese a que se trata del recurso más transformador y revolucionario a nivel global, es llamativo que no exista certeza sobre su origen. Mientras que la escuela occidental (con mayor número de seguidores) sugiere para el petróleo un origen biogénico a partir de la materia orgánica que ha quedado enterrada en los sedimentos a lo largo de tiempos geológicos, la escuela ruso-ucraniana propone que se trata de un recurso abiogénico con origen en rocas básicas y ultrabásicas de la astenósfera (Romanova y Romanov 2015). Estamos pues ante una muy importante disyuntiva sobre la finitud o infinidad del recurso. Más allá de esto, e independientemente de su origen, está comprobado que continuar con la dependencia del petróleo limita fuertemente la diversificación de las fuentes de energía e implica continuar con el calentamiento global, el cual es atribuido mayormente al incremento de CO₂ derivado de la quema de hidrocarburos.

Asumiendo que el petróleo es un recurso de origen biogénico, para el desarrollo de fuentes alternativas de energía es interesante considerar la estrecha relación que guardan sus componentes principales (carbono e hidrógeno) con la materia viva. En líneas generales, el origen del petróleo estaría ligado a la acumulación de organismos autótrofos y heterótrofos, principalmente marinos (y de aguas salobres), y su posterior soterramiento en un medio anaeróbico,

sufriendo luego diversos procesos geológicos en los que intervienen altas presiones y temperaturas.

La formación de petróleo a partir de materia orgánica requiere inicialmente de la creación de un estrato madre caracterizado por un alto contenido de carbono orgánico rico en compuestos con alta proporción H/C, tales como los **lípidos**. Esto fue posible gracias a la elevada productividad del plancton que habitaba en las aguas superficiales y, más específicamente, a los organismos planctónicos unicelulares (microalgas) que constituyen el fitoplancton, ya que su abundancia y composición determinan la cantidad y calidad de la materia orgánica que será exportada hacia las grandes profundidades.

A lo largo del tiempo geológico, los organismos muertos y la materia orgánica producto de su degradación y metabolismo fueron acumulándose en los fondos oceánicos, proceso que fue más significativo en aguas ricas en nutrientes y/o poco profundas, ya que son las que aseguran una sedimentación más rápida y una menor tasa de mineralización de la materia orgánica durante la caída. Esto explica por qué los principales yacimientos de petróleo generalmente se encuentran en zonas que han sido (o aún son) áreas marinas someras, proximidades a deltas o zonas lacustres.

■ BIOCMBUSTIBLES Y MICROALGAS: UNA OPCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN DESARROLLO

Las plantas y animales almacenan lípidos en forma de aceites y grasas, respectivamente. Como ya ha sido mencionado, la búsqueda de una alternativa al uso del petróleo ha llevado a investigar y desarrollar la industria de los biocombustibles, vale decir de combustibles

producidos por el hombre a partir de biomasa. Tanto la biomasa de ciertos vegetales (principalmente plantas oleaginosas y microalgas) como las grasas animales pueden proporcionar materia prima para su producción.

Según el nivel de procesamiento y origen de la fuente de biomasa, los biocombustibles se clasifican como de primera, segunda, tercera o cuarta generación (Cuadro 1). Según su estado, pueden ser líquidos (bioetanol y biodiesel), gaseosos (biogás) o sólidos (briquetas, pellets de madera, leña, carbón vegetal, etc.).

Entre los biocombustibles líquidos, el biodiesel (compuesto por una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos de cadena larga), se obtiene por el proceso de transesterificación de triglicéridos. El bioetanol (alcohol etílico) se obtiene a partir de la fermentación alcohólica de azúcares. Actualmente, para el biodiesel se utilizan plantas oleaginosas (soja, girasol, maní, algodón, palma), grasa animal o residuos de

aceite, mientras que para el bioetanol (el biocombustible con mayor producción global) se utiliza maíz, remolacha, caña de azúcar y también residuos derivados de biomasa.

Particularmente los biocombustibles líquidos, tales como el biodiesel y el bioetanol, mezclados en diferentes grados con gasoil y nafta respectivamente, son una importante alternativa para cubrir parte de la demanda energética de combustibles derivados de petróleo destinados al transporte y con ventajas ambientales de importancia respecto de este último (Chisti y Yan 2011). Actualmente, el biodiesel y el bioetanol derivados de la biomasa terrestre no alcanzan a cubrir la demanda de diesel fósil (Chisti 2008, Demirbas 2010, Cheng y Timilsina 2011). Además, sumado a los aspectos tratados previamente, la "economía de carbono ambiental" depende de cómo estos biocombustibles sean producidos. Si generar biomasa implica pérdida de bosques, pastizales y sabanas en pos de cultivos, su producción implica una deuda ambien-

tal, dado que se liberan de 17 a 420 veces más de CO₂ que la disminución anual de gases de efecto invernadero que produciría el reemplazo de los combustibles fósiles por biocombustible (Fargione et al. 2008). En contraste, si los biocombustibles provienen de residuos de biomasa o del desarrollo de determinados cultivos en suelos marginales, éstos pueden ofrecer ventajas (Fargione et al. *op cit*). Hace casi una década ya se afirmaba que la cantidad de carbono secuestrado por la restauración de bosques es mayor que la reducción de las emisiones por el uso de biocombustibles (Righelato y Spracklen 2007).

Una opción promisoriosa en este contexto son los resultados de las investigaciones sobre microalgas (o biocombustibles de tercera generación, Cuadro 1) en virtud de su alto contenido de lípidos y porque serían una fuente de biodiesel capaz de sostener en un futuro la demanda de combustibles y de mitigar las emisiones de CO₂ (Chisti y Yan 2011).

Cuadro 1:

Clasificación de los biocombustibles según la fuente de origen de la biomasa y el nivel de procesamiento.

Primera generación (1G): Biomasa derivada de materias primas aptas para alimentación. El etanol y el biodiesel se producen y comercializan actualmente en base a especies de plantas terrestres. Presentan controversias vinculadas con la seguridad alimentaria y el uso de los suelos, pérdida de la biodiversidad natural y cambios en la calidad del agua y suelos.

Segunda generación (2G): Biomasa lignocelulósica derivada de residuos de la industria agrícola y maderera, desechos de animales, etc. Mayor complejidad en la producción que los biocombustibles de 1G. Aún no se producen en gran escala.

Tercera generación (3G): Biomasa derivada de cultivos específicos, como microalgas. Implican menor presión sobre la materia prima y liberación de suelos para el cultivo, entre otras ventajas (ver Cuadro 2). Actualmente no disponibles debido al costo elevado y la baja producción de biodiesel, parcialmente atribuido al hecho de que la producción de lípidos (que ocurre bajo condiciones de estrés de nutrientes) se asocia con una reducción del crecimiento y producción de biomasa. Requieren de desarrollo científico-tecnológico.

Cuarta generación (4G): Basados en ingeniería metabólica de microorganismos. Requiere del desarrollo de biología sintética (Aro 2016). La bioingeniería (principalmente de bacterias) para uso industrial conlleva a consideraciones éticas al tratar a organismos vivos como máquinas o herramientas (McLeod et al. 2017).

Las microalgas son un conjunto de organismos unicelulares procariontas y eucariotas muy heterogéneo, que habitan en ambientes acuáticos como células libres en la columna de agua y/o adheridas a un sustrato. Su rol en la producción de oxígeno y la fijación de carbono global equipara al de las plantas terrestres. Pueden acumular entre 20% y 50% de su peso seco como lípidos. Sus aplicaciones tanto para la generación de productos como en procesos de biorremediación derivados de residuos domésticos, agropecuarios e industriales son innumerables (Spolaore et al. 2006). Entre los productos, las microalgas con capacidad de acumular lípidos en una cantidad superior al 20% de su masa celular son consideradas como una fuente alternativa de lípidos para biocombustibles. Algunas especies son potencialmente capaces de producir hasta un 60% de lípidos neutros (**triacilglicerol** o TAG) por gramo de peso

seco, convirtiéndolas en el sistema natural más eficiente para la producción de biodiesel (Sayre 2010, Yi et al. 2017). Esta concentración puede incrementarse hasta lograr un 90% de su peso seco, si las algas se someten a un estrés fisiológico mediante la limitación de nutrientes o de luz (Khozin-Goldberg y Cohen 2011, Scott et al. 2010).

La acumulación de lípidos en microalgas se produce cuando un nutriente (por ejemplo, nitrógeno) se convierte en el factor limitante del crecimiento. La limitación de nitrógeno no sólo genera la acumulación de lípidos, sino que también da lugar a un cambio gradual de la composición lipídica al facilitar la conversión de ácidos grasos libres a triglicéridos, siendo estos últimos más útiles para la conversión a biodiesel (Hu et al. 2008). Por otra parte, es posible aumentar la concentración en biomasa mediante la optimiza-

ción de los factores determinantes del crecimiento (intensidad de luz, temperatura, pH, salinidad, concentración de dióxido de carbono) y del proceso de cosecha.

El biodiesel derivado de lípidos de microalgas cobra un especial interés por ser el más parecido al petróleo. Si cumple con las especificaciones de calidad internacionales puede: a) incorporarse fácilmente a la actual infraestructura mundial de transporte; b) utilizarse en forma directa como combustible sólido para generar electricidad, calor y vapor; c) convertirse en biocombustibles gaseosos como el biogás y el biohidrógeno; d) proveer almidón que al ser fermentado produce biocombustibles líquidos como el bioetanol y el biobutanol.

El Cuadro 2 resume las múltiples ventajas de las microalgas, en su mayoría ambientalmente superado-

Cuadro 2:

Cualidades de las microalgas por sobre las plantas terrestres en relación con la producción de biocombustibles

Tasa de crecimiento más elevada (en condiciones ideales). Gran parte de la energía se invierte en división celular (6 a 12 hs) permitiendo acumulación de biomasa y aceites en menos de un día. El rendimiento por unidad de superficie es mucho mayor que en cualquier planta oleaginosa.

Mayor eficiencia fotosintética. Convierten de 3 a 8 % de la energía solar en biomasa. (En plantas: 0,5 %).

Más eficientes en la asimilación de CO₂. Reducen el efecto invernadero.

No requieren de suelos aptos para el cultivo. Se cultivan en laboratorio, en fotobiorreactores u otras instalaciones cerradas o abiertas.

Los períodos de cosecha son cortos y continuos. Muchas especies de plantas dependen de la estacionalidad.

Pueden cultivarse en aguas residuales o salobres. Los principales requerimientos para el cultivo son distintas condiciones de luz y nutrientes. El CO₂ y el agua residual se reutilizan en el cultivo.

La biomasa residual es aplicable en industria. Luego de la extracción de aceites, la biomasa es apta para la industria farmacéutica, alimentaria y agropecuaria.

(Fuentes: Demirbas 2009, Sayre 2010, Rodolfi et al. 2009, Lardon et al. 2009, Arias Peñaranda et al. 2013).

ras comparadas con los beneficios derivados de los biocombustibles de las plantas superiores. Además, si se compara el rendimiento en aceite derivado de plantas y de microalgas, el maíz, la soja, la jatropha y la palma aceitera brindan 170, 446, 1.892 y 5.950 litros/hectárea, mientras que el rendimiento de las microalgas oscila entre 58.700 y 136.900 litros/hectárea, dependiendo de que el aceite represente el 30% o 70% del peso seco, respectivamente (Chisti 2008).

El desarrollo de biocombustibles a partir de microalgas es un proceso de cuatro etapas básicas (Figura 2): cultivo, cosecha, procesamiento/extracción y refinamiento (para biodiesel o bioetanol). Cada etapa implica distintos grados de complejidad y la tecnología asociada está en constante innovación. Durante la etapa de producción de biomasa, se incorporan al cultivo el agua, los nutrientes y el dióxido de carbono.

En la etapa de recuperación o cosecha, las células suspendidas en el cultivo se separan del agua y de los nutrientes residuales. La biomasa recuperada se utiliza para extraer el aceite que se convertirá en biodiesel en un proceso independiente. Parte de la biomasa puede ser utilizada como alimento de animales y para otros productos derivados de alto valor. Bajo un proceso de digestión anaeróbica, gran parte de la biomasa produce biogas que permite generar electricidad y sostener la propia producción de microalgas. Las emisiones de CO₂, por su parte, también se utilizan para la producción de biomasa (Chisti 2008).

En líneas generales, las microalgas pueden cultivarse en sistemas abiertos, cerrados o mixtos (Chisti 2008, Brennan y Owende 2010, Narala et al. 2016).

- **Sistemas abiertos:** son los más frecuentemente utilizados. Se

trata de estanques (cemento, polietileno o PVC) con un flujo de agua en constante circulación por la acción de paletas giratorias. En estos sistemas el cultivo depende de las condiciones ambientales del lugar donde se encuentre la refinería. Tienen la ventaja de ser económicos y de construcción sencilla, pero la productividad que pueden alcanzar es baja.

- **Sistemas cerrados o fotobiorreactores.** se desarrollaron para solucionar los problemas de contaminación con otras especies y/o pérdida de algas por condiciones inapropiadas. Los fotobiorreactores pueden ser segmentos tubulares, columnas o paneles planos, dispuestos en diferentes configuraciones. Permiten controlar factores ambientales para optimizar el crecimiento y evitar los procesos de fotorrespiración. Debe proporcionarse la energía

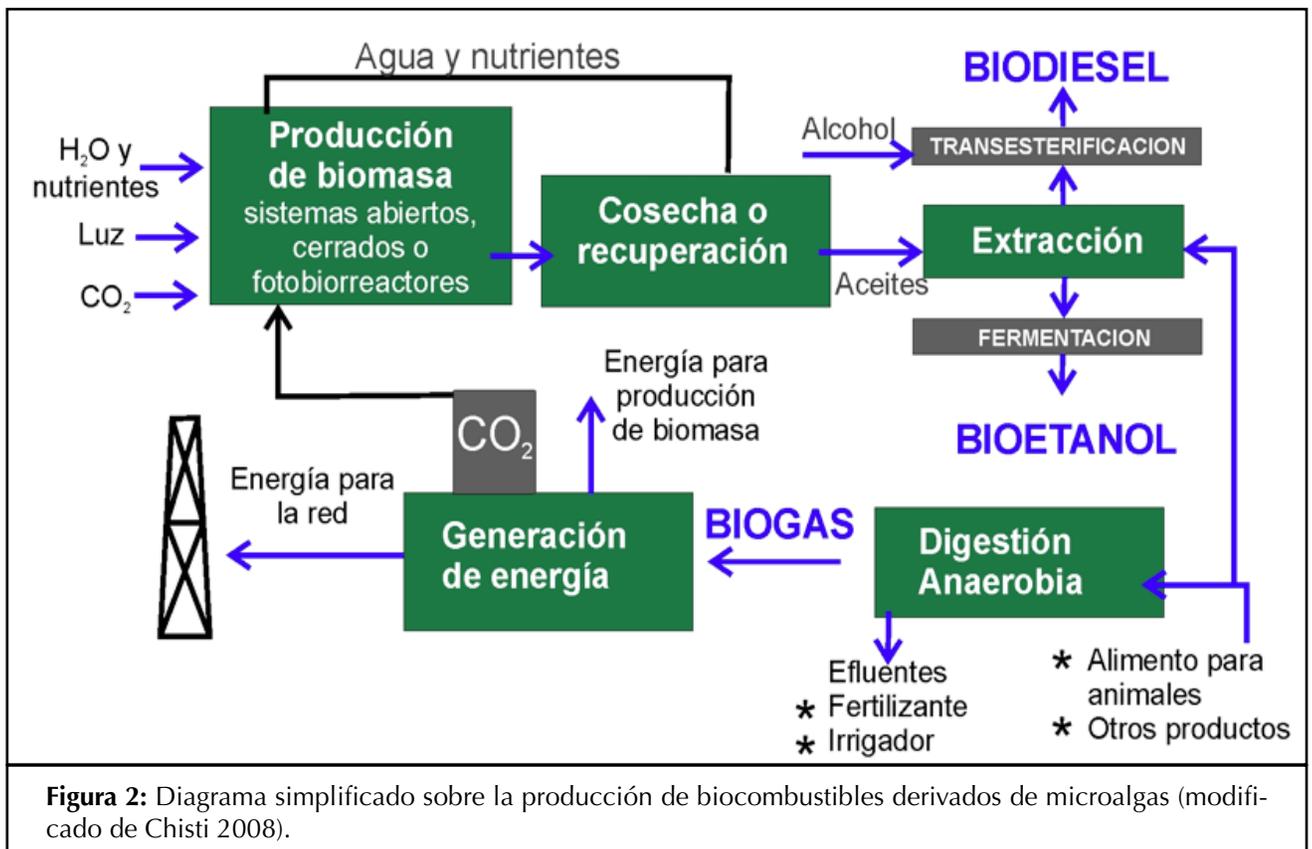


Figura 2: Diagrama simplificado sobre la producción de biocombustibles derivados de microalgas (modificado de Chisti 2008).

mecánica necesaria para evitar la sedimentación de las algas y favorecer la transferencia de gases. Tienen un mayor costo en materiales por el uso de tecnologías más sofisticadas y algunos problemas vinculados con el calentamiento, el crecimiento de algas que se adhieren al sustrato, y el exceso de oxígeno (que limita el crecimiento). En base a información acumulada durante 25 años, Lee (2001) concluye que la productividad de los fotobiorreactores no es muy superior a la que se obtiene en sistemas abiertos.

- **Sistemas mixtos:** consisten en invernaderos dentro de los cuales se instalan estanques de menores dimensiones que los sistemas abiertos. La estructura del invernadero soluciona algunos de los problemas de los sistemas abiertos, como minimizar la probabilidad de contaminación con otras especies y mejorar ciertos factores como la temperatura y la luz.

Cabe recalcar, en este punto, que el uso de las microalgas para la producción de biocombustibles

está aún en etapa de investigación y desarrollo. Dado que no todas las especies son igualmente aptas para la producción de biodiesel, se requiere aún de investigación adicional vinculada con la adecuada selección de taxones. Además, debe contemplarse que el rendimiento en biomasa y la concentración de lípidos dependen del clima, la calidad del agua, la composición del medio de cultivo y las condiciones generales asociadas a los métodos de extracción. Por último, el principal obstáculo para producir biocombustibles microalgales en gran escala y a través de procesos de máxima eficiencia es su costo, asociado principalmente a los requerimientos de nutrientes y los procesos de separación de aceites y recuperación del agua, entre otros (Chisti 2008, 2013, Wesoff 2017).

Más allá del biodiesel, el desarrollo científico-tecnológico vinculado con las microalgas como fuente de energía renovable permitió la construcción del primer edificio del mundo cuya energía de mantenimiento es producida exclusivamente por sus propios paneles de microalgas (Figura 3). Si proyectos como éste llegaran a prosperar, estaríamos

hablando de emprendimientos en escalas mucho más reducidas y concretas, aunque aquí también la mayor dificultad estaría centrada en la reducción de costos (estimados en € 5 millones, Smart Material House BIQ, 2013).

■ ENTRE LAS MICROALGAS: LAS DIATOMEAS MARINAS

Las diatomeas son algas unicelulares eucariotas que viven en ambientes acuáticos (continentales o marinos), tanto en la columna de agua como en la interfase agua-sedimentos, y pueden ser solitarias o coloniales. En general su tamaño oscila entre 5 y 200 micrones, aunque se han registrado células de hasta casi medio milímetro. Las especies planctónicas desarrollan adaptaciones morfológicas (espinas, cadenas de individuos, etc.) para resistir al hundimiento. Se caracterizan por presentar una estructura de sílice (dióxido de silicio) muy resistente, conocida como frústulo (Figura 4). El frústulo consiste de dos piezas complementarias, una externa o epiteta y una interna o hipoteca, ambas con nanoestructuras altamente ordenadas y características de cada especie. La sílice es sintetizada en



Figura 3: Primer edificio cuya energía se basa en microalgas (izquierda). Detalles de los fotorreactores de microalgas (derecha). Tomado de: <http://phytoplanktonsource.com/worlds-first-algae-powered-in-germany/>

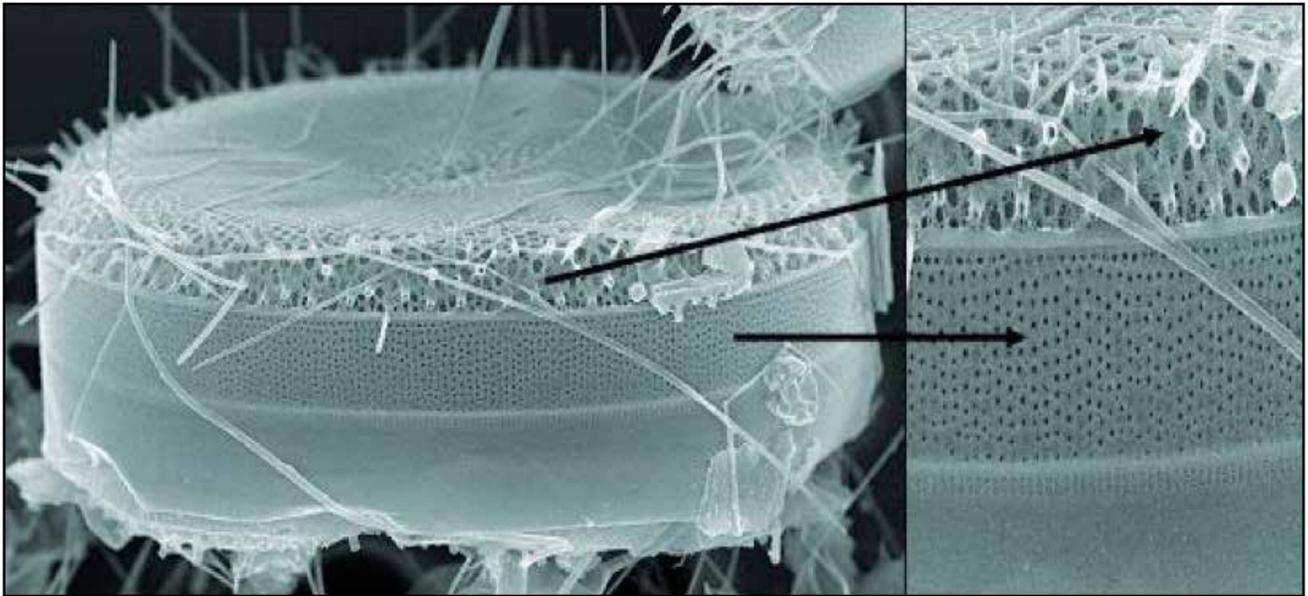


Figura 4: Frústulo de diatomea (izquierda) y detalles del patrón de poros o aréolas (derecha). Foto: Clara Iachetti.

vesículas especiales a través de procesos que aún son poco conocidos.

Estas microalgas tienen un ciclo de vida particular caracterizado por una progresiva reducción del tamaño durante la etapa de reproducción asexual. El tamaño se restituye durante la división sexual, mediante la formación de gametas y conjugación. Cabe destacar, sin embargo, que lo poco que se conoce sobre la reproducción sexual en diatomeas proviene casi exclusivamente de experimentos de laboratorio llevados a cabo sobre un número reducido de especies (Montresor et al. 2016).

En comparación con otras microalgas, las diatomeas se destacan por: a) ser ambientalmente flexibles; b) desempeñar roles vitales en los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y sílice; c) su elevada contribución a la productividad biológica; d) desempeñar un papel primordial en la regulación del clima global; e) ser indicadoras de depósitos de petróleo, de circulación de masas de agua y corrientes marinas, y de variabilidad paleoclimática y paleoecológica (Falkowski et al. 2008, Shukla y

Mohan 2012, Cermeño 2016).

Desde el punto de vista evolutivo y ecológico, representan uno de los grupos taxonómicos más exitosos. Se cree que las diatomeas aparecieron hace aproximadamente 250 millones de años, luego de las extinciones masivas del Pérmico-Triásico. La expansión y diversificación del grupo habría tenido lugar 30 millones de años atrás, en el límite entre el Eoceno y el Oligoceno. No se conoce a ciencia cierta la razón del éxito evolutivo y ecológico de las diatomeas. Sin embargo, las investigaciones del genoma de ciertas especies (Armbrust et al. 2004, Bowler et al. 2008) permiten hipotetizar sobre cómo pudieron haber evolucionado y cuál es su potencial bioquímico.

Tanto las plantas terrestres como las algas verdes (clorofíceas) y rojas (rodofíceas) parecen haberse originado por un proceso de endosimbiosis primaria en el que un organismo unicelular eucariota no fotosintético incorporó en su interior a una cianobacteria (organismo procarionta autótrofo), adquiriendo de esta manera un sistema fotosintético que

permaneció alojado como un plástido rodeado por dos membranas (una propia y otra del hospedador). Este evento explicaría el origen monofilético de todos los plástidos de células eucariotas (Keeling 2010). El proceso endosimbiótico implicó la transferencia de un alto número de genes de la cianobacteria hacia el núcleo de la célula hospedadora, por lo que la dotación génica del cloroplasto (plástido especializado en fotosíntesis) se vio notablemente reducida.

La evolución de las diatomeas, sin embargo, parece haber sido distinta. Se postula que las diatomeas (y otros grupos menores relacionados a éstas) se originaron cuando un organismo unicelular eucariota no fotosintético incorporó en su interior no a un procarionta, sino a un eucariota fotosintético. Este proceso evolutivo, conocido como endosimbiosis secundaria, puede evidenciarse por la presencia de cuatro membranas (en lugar de dos) rodeando a los plástidos de las diatomeas. También se pone de manifiesto por la presencia de cloroplastos aparentemente derivados de un alga roja, proteínas

similares a las de algas verdes, y mitocondrias (organelas especializadas en la respiración) derivadas del hospedador no fotosintético original. La inusual combinación de organelas de diverso origen evolutivo sería el factor clave que, a través de vías metabólicas peculiares y altamente eficientes, ha permitido el enorme éxito ecológico de las diatomeas (Prihoda et al. 2012).

Han colonizado y están presentes en una amplia diversidad de hábitats, incluyendo ambientes extremos como la zona intertidal (sometida al régimen de mareas), donde soportan condiciones de estrés de nutrientes (e.g., reducción de carbono inorgánico disuelto), desecación y exposición a elevadas intensidades de luz, temperatura y salinidad, entre otros factores (Morin et al. 2016, Marques da Silva et al. 2017). La aclimatación a condiciones de estrés depende de la capacidad de reorganizar su metabolismo del carbono hacia una producción de moléculas con mayor energía que los carbohidratos, como por ejemplo lípidos y **carotenoides** (Schoefs et al. 2017).

Algunas especies marinas (cuyo genoma ha sido descifrado; e.g., *Phaeodactylum tricornutum*; Bowler et al. 2008) pueden crecer y acumular biomasa mediante la mixotrofia, estrategia alimenticia basada en la combinación de una fuente de luz y una de carbono (Villanova et al. 2017). Como ocurre con otras microalgas, cuando se encuentran en condiciones limitantes de nutrientes (nitrógeno o sílice), acumulan triacilglicéridos (Maeda et al. 2017). Recientemente se ha demostrado que en condiciones de mayor turbulencia (y sin limitación de nutrientes) generan cadenas más cortas y activan la biosíntesis de ácidos grasos (Amato et al. 2017).

Su alta eficiencia fotosintética

se debe a que concentran el CO_2 en cercanías de la enzima RuBisCO (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa) y reducen su nivel de fotorrespiración, aunque este mecanismo aún no se conoce plenamente. Las diatomeas han sido tradicionalmente consideradas como fotosintetizadoras del tipo C_3 , pero investigaciones más recientes sugieren que realizan una fotosíntesis de tipo C_4 (Riebesell 2000, Schoefs et al. 2017).

Las diatomeas son el grupo taxonómico dominante del fitoplancton marino, principalmente en mares templados y fríos y en zonas donde ocurren procesos de surgencia (ascenso) de aguas profundas, ricas en nutrientes. A las diatomeas marinas se les atribuye hasta un 20% de la fijación global de CO_2 (Treguer et al. 1995, Field et al. 1998). Generan por fotosíntesis casi un 40% de los 45-50 billones de toneladas de carbono orgánico que se producen anualmente en los océanos. Parte de esta biomasa es consumida por herbívoros y parte se hunde directamente al fondo marino, pero de una u otra manera termina sedimentando. A este proceso se lo conoce como "bombeo biológico del carbono". Cuanto mayor es el tamaño de las células, mayor es la eficiencia en el transporte de carbono hacia los fondos oceánicos (por la tendencia natural de las células a sedimentar). Se predice que el rol de las diatomeas marinas en el ciclo global del carbono es comparable al de una combinación de todos los bosques tropicales terrestres (Field et al. 1998). Representan la base de una cadena trófica corta y lineal, energéticamente eficiente, y sostén de importantes pesquerías. Al igual que otras microalgas y protozoos, producen floraciones (incrementos súbitos de la densidad) como parte de su ciclo estacional o bien en respuesta a determinados factores ambientales

naturales o antrópicos (e.g., incremento de nutrientes).

Los productos derivados de las diatomeas marinas tienen múltiples aplicaciones en diferentes industrias. Dos aspectos principales pueden ser destacados en el contexto de energías renovables:

1. De un proyecto basado en el estudio de 3000 especies de microalgas con el fin de conocer su potencial para la generación de biocombustibles, se seleccionaron tan sólo 50 especies, de las cuales el 60% fueron diatomeas (Hildebrand et al. 2012). El criterio de selección se fundamentó en: a) sus altas tasas de crecimiento, b) concentración sustancial de lípidos (principalmente en condiciones de limitación de Si y N), c) gran tolerancia a condiciones ambientales adversas, y d) su rendimiento en cultivos de gran escala. En relación con la concentración de lípidos, otro estudio más reciente (D'Ippolito et al. 2015) resume el perfil lipídico de 17 cepas de diatomeas marinas. Del total analizado, dos especies (*Thalassiosira weissflogii* y *Cyclotella cryptica*) resultaron ser excelentes candidatas para la producción de biocombustibles debido a su elevada producción de lípidos (> 80%) en condiciones de limitación de nitrógeno. Estos valores son comparables al potencial que ofrecen las especies de dos géneros de algas verdes (*Nannochloropsis* y *Dunaliella*) propuestas reiteradamente como fuentes de biocombustibles y para otras aplicaciones industriales.

2. El proceso de síntesis de sílice en diatomeas cobra gran importancia en bionanotecnología por la dificultad que implica la producción controlada de nanoestructuras de sílice (SiO_2), vidrio que tiene aplicaciones tecnológicas potenciales en celdas solares y en la fabricación de materiales cerámicos de alto ren-

dimiento, entre otras (Heredia et al. 2013). Su importancia en la generación de materiales nanoestructurados está comenzando a ser investigada. Los estudios disponibles hasta el presente indican un incremento del 30% en la eficiencia de los paneles solares (Toster et al. 2013) aun basándose en diatomeas fósiles (Mc-Millon-Brown et al. 2017).

A pesar de sus singulares atributos, la importancia de las diatomeas marinas y su potencial en el desarrollo de biocombustibles está subrepresentada en la literatura (Hildebrand et al. 2012). Los principales desafíos en este campo son entender y mejorar los factores que favorecen la alta productividad de algunas especies o cepas, y desarrollar sistemas de cultivo en gran escala que permitan producir un biocombustible económicamente rentable. De los dos desafíos, resulta prioritario entender la biología de las especies y su respuesta a los factores ambientales, y el metabolismo de los lípidos celulares y sus funciones (lipidómica). Ésta y otras disciplinas "ómicas" (genómica, proteómica, transcriptómica y metabolómica), junto con la bioinformática, representan herramientas fundamentales para avanzar en el conocimiento general de las diatomeas y sus posibles aplicaciones.

■ GLOSARIO.

Huella de carbono: medida del impacto de las actividades humanas en el ambiente. Estimador de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, medidos en unidades de dióxido de carbono equivalente.

Lípidos: sustancias insolubles en agua (y solubles en solventes orgánicos). Sus moléculas poseen átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Según sus propiedades se reconocen ácidos grasos, triglicéridos, es-

teroles, fosfolípidos y ceras.

Transesterificación: reacción reversible entre triglicéridos y un alcohol en presencia de un catalizador (ácido o básico) para producir alquil ésteres de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol como subproducto.

Triacilgliceroles (o tri-acil-glicéridos, TAG): lípidos (o grasas neutras) carentes de carga eléctrica. Se forman debido a la unión de tres ácidos grasos con una molécula de glicerol.

Carotenoides: pigmentos orgánicos naturales presentes en los organismos fotosintéticos (plantas, algas, bacterias). Participan en el proceso de transferencia de energía y tienen propiedades antioxidantes.

■ REFERENCIAS.

Abbasi S.A., Abbasi N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied Energy* 65, 121-144.

Amato A., Dell'Aquila G., Musacchia F., Annunziata R. et al. (2017). Marine diatoms change their gene expression profile when exposed to microscale turbulence under nutrient replete conditions. doi.10.1038/s41598-017-03741-6.

Arias Peñaranda M.T., Martínez Roldán A.J., Cañizares Villanueva R.O. (2013). Producción de biodiesel a partir de microalgas: parámetros del cultivo que afectan la producción de lípidos. *Acta Biológica Colombiana* 18, 43-68.

Armbrust E.V., Berges J.A., Bowler C. et al. (2004). The genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism. *Science* 306, 79-86.

Aro E.M. (2016). From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio* 45, 24-31.

Bowler C., Allen A.E., Badger J.H., Grimwood J. et al. (2008). The *Phaeodactylum* genome reveals the evolutionary history of diatom genomes. *Nature* 456, 239-44.

Brennan L., Owende P. (2010). Biofuels from microalgae. A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 557-577.

Cermeño P. (2016). The geological story of marine diatoms and the last generation of fossil fuels. *Perspectives in Phycology* 3, 53-60.

Cheng J.J., Timilsina G.R. (2011). Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. *Renewable Energy* 36, 3541-3549.

Chisti Y. (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology* 26, 126-131.

Chisti Y. (2013). Constraints to commercialization of algal fuels. *Journal of Biotechnology* 10, 201-214.

Chisti Y., Yan J. (2011). Energy from algae: Current status and future trends. *Algal biofuels. A status report. Applied Energy* 88, 3541-3547.

Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408, 184-187.

- D'Ippolito G., Sardo A., Paris D., Vella F.M., Adelfi M.G., Botte P., Gallo C., Fontana A. (2015). Potential of lipid metabolism in marine diatoms for biofuel production. *Biotechnology for Biofuels*. doi:10.1186/s13068-015-0212-4.
- Deemer B.R., Harrison J.A., Li S. et al. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience* 66, 949-964.
- Demirbas A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion Management* 50, 14-34.
- Demirbas A. (2010). Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management* 51, 2738-2749.
- Falkowski P.G., Fenchel T., Delong E.F. (2008). The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science* 320, 1034-1039.
- Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P. (2008). Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 29, 1235-1238.
- Field C.B., Behrenfeld M.J., Rander-son J.T. et al. (1998). Primary production of the biosphere, integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281, 237-240.
- Friedlingstein P. (2015). Carbon cycle feedbacks and future climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. A. doi:10.1098/rsta.2014.0421.
- Heredia A., Colín-García M., Dos Santos-Rodríguez C. et al. (2013). Sílice de las algas diatomeas como material complejo y su importancia nanotecnológica. doi:10.17163/lgr.n17.2013.01.
- Hildebrand M., Davis A.K., Smith S.R., Traller J.C., Abbriano R. (2012). The place of diatoms in the biofuels industry. *Biofuels* 3, 221-240.
- Hu Q., Sommerfeld M., Jarvis E., Ghirardi M., Posewitz M., Seibert M., Darzins A. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *Plant Journal* 54, 621-639.
- Keeling P.J. (2010). The endosymbiotic origin, diversification and fate of plastids. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. B. 365, 729-748.
- Khozin-Goldberg I., Cohen Z. (2011). Unraveling algal lipid metabolism: Recent advances in gene identification. *Biochimie* 93, 91-100.
- Lardon L., Hélias A., Sialve B., Steyer J-P., Bernard O. (2009). Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. *Sci-Technol* 43, 6475-6481.
- Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P. et al. (2017). Global Carbon Budget. *Earth System Science Data (ESSD) Discuss*. doi.org/10.5194/essd-2017-123.
- Lee Y-K. (2001). Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential. *Journal of Applied Phycology* 13, 307-315.
- McMillon-Brown L., Mariano M., Lin Y.H.L. et al. (2017). Light-trapping in polymer solar cells by processing with nanostructured diatomaceous earth. *Organic Electronics* 51, 422-427.
- Maeda Y., Nojima D., Yoshino T., Tanaka T. (2017). Structure and properties of oil bodies in diatoms. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. B. doi:10.1098/rstb.2016.0408.
- Marques da Silva J., Cruz S., Cartaxana P. (2017). Inorganic carbon availability in benthic diatom communities: photosynthesis and migration. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. B. doi:10.1098/rstb.2016.0398.
- McLeod C., Nerlich B., Mohr A. (2017). Working with bacteria and putting bacteria to work: The biopolitics of synthetic biology for energy in the United Kingdom. *Energy Research and Social Science* 30, 35-42.
- Montresor M., Vitale L., D'Alelio D., Ferrante M.I. (2016). Sex in marine planktonic diatoms: insights and challenges. *Perspectives in Phycology* 3, 61-75.
- Morin S., Rosberry J., Van de Vijver B., Schoefs B. (2016). Advances in diatom biodiversity and ecology. *Botany Letters* 163, 69-70.
- Narala R.R., Garg S., Sharma K.K., Thomas-Hall S.R. et al. (2016). Comparison of Microalgae Cultivation in Photobioreactor, Open Raceway Pond, and a Two-Stage Hybrid System. *Frontiers in Energy Research*. doi.org/10.3389/fenrg.2016.00029.
- Prihoda J., Tanaka A., de Paula W.M., Allen J.F., Tirichine L., Bowler C. (2012). Chloroplast-mitochondria cross-talk in diatoms. *Journal of Experimental Botany* 63, 1543-1557.
- Rackley S. (2017). *Carbon Capture and Storage*. 2da. Edición, 698 pp.

- Riebesell U. (2000). Photosynthesis. Carbon fix for a diatom. *Nature* 407, 959-960.
- Righelato R., Spracklen D.V. (2007). Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests?. *Science* 317, 902.
- Rodolfi L., Zittelli G. C., Bassi N., Padovani G., Biondi N. et al. (2009). Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering* 102, 100-112.
- Romanova U.G., Romanov G.V. (2015). The Origin of Petroleum: The Mystery Remains. *GeoConvention 2015*, 4 pp.
- Sayre R. (2010). Microalgae: The Potential for Carbon Capture. *BioScience* 60, 722-727.
- Schoefs B., Hu H., Kroth P. G. (2017). The peculiar carbon metabolism in diatoms. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. B. doi.10.1098/rstb.2016.0405.
- Scott S.A., Davey M.P., Dennis J.S., Horst I., Howe J., Lea-Smith D.J., Smith A. (2010). Biodiesel from algae: challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology* 27, 958-1669.
- Shukla S.K., Mohan R. (2012). The Contribution of Diatoms to Worldwide Crude Oil Deposits. Gordon y Seckbach (Eds). En: *The Science of Algal Fuels: Phycology, Geology, Biophotonics, Genomics and Nanotechnology*, 355-382.
- Song M., Pham H.D., Seon J., Woo H.C. (2015). Marine brown algae: a conundrum answer for sustainable biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 782-792.
- Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101, 87-96.
- Tavoni A., Dannenberg A., Kallis G., Löschel (2011). Inequality, communication, and the avoidance of disastrous climate change in a public goods game. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 11825-11829.
- Toster J., Iyer K.S., Xiang W., Rosei F., Spicciac L., Raston C.L. (2013). Diatom frustules as light traps enhance DSSC efficiency. *Nanoscale* 5, 873-876.
- Treguer P., Nelson D.M., Van Bennekom A.J., DeMaster D.J., Leynaert A., Queguiner B. (1995). The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Science* 268, 375-379.
- Villanova V., Fortunato A.E., Singh D., Dal Bo D., Conte M., Obata T. et al. (2017). Investigating mixotrophic metabolism in the model diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. B. 372. doi.10.1098/rstb.2016.0404.
- Wesoff E. (2017). <https://www.greentechmedia.com/articles/read/lessons-from-the-great-algae-biofuel-bubble#gs.C8=961E>.
- Yi Z., Xu M., Di X., Brynjolfsson S., Fu W. (2017). Exploring Valuable Lipids in Diatoms. *Frontiers in Marine Science* 4, 17. doi.org/10.3389/fmars.2017.00017

Recuperación de tecnologías ancestrales y sustentables en Jujuy

La vicuña como modelo de producción sustentable

Ciencia e historia se unen para preservar a la vicuña

*Cazando vicuñas anduve en los cerros
Heridas de bala se escaparon dos.*

*- No caces vicuñas con armas de fuego;
Coquena se enoja, - me dijo un pastor.*

*- ¿Por qué no pillarlas a la usanza vieja,
cercando la hoyada con hilo punzó ?*

*- ¿Para qué matarlas, si sólo codicias
para tus vestidos el fino vellón ?*

Juan Carlos Dávalos, Coquena

Lo primero es pedir permiso a la Pachamama. Porque a ella, en la cosmovisión andina, pertenecen las vicuñas que se extienden por el altiplano de Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Una ceremonia ancestral, unida a la ciencia moderna, permite que comunidades y científicos argentinos exploten de manera sustentable un recurso de alto valor económico y social.

La vicuña es una especie silvestre de camélido sudamericano que habita en la puna. Hasta 1950-1960 estuvo en serio riesgo de extinción debido a la ausencia de planes de manejo y conservación. Desde la llegada de los españoles se comenzó con la caza y exportación de los cueros para la obtención de la fibra, que puede llegar a valer U\$S600 por kilo, lo que llevo a la casi desaparición de estos animales. Por ese entonces, la población de vicuñas en América era cercana a los 4 millones de ejemplares, en 1950 no eran más de 10.000.

A fines de la década del 70 Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Ecuador firmaron un Convenio para la conservación y manejo de la vicuña que permitió recuperar su población hasta contar en la actualidad con más de 76 mil ejemplares en nuestro país.

En Santa Catalina, Jujuy, a 3.800 metros sobre el nivel del mar, investigadores de CONICET, junto a comunidades y productores locales, han logrado recuperar una tecnología prehispánica sustentable para la obtención de la fibra de vicuña. Se trata de una ceremonia ancestral y captura mediante la cual se arrean y esquilan las vicuñas silvestres para obtener su fibra. Se denomina chaku y se realizaba en la región antes de la llegada de los conquistadores españoles. Según Bibiana Vilá, investigadora independiente de CONICET y directora del grupo Vicuñas, Camélidos y Ambiente (VICAM) *"Hoy podemos pensar en volver a hacer ese chaku prehispánico sumado a técnicas que los científicos aportamos para que las vicuñas pasen por toda esa situación sufriendo el menor stress posible. Las vicuñas vuelven a la naturaleza, la fibra queda en la comunidad, y nosotros tomamos un montón de datos científicos."*

El chaku

El chaku es una práctica ritual y productiva para la esquila de las vicuñas. Durante el imperio inca, las cacerías reales o chaku eran planificadas por el inca en persona. En esta ceremonia se esquilaba a las vicuñas y se las liberaba nuevamente a la vida silvestre. La fibra obtenida era utilizada para la confección de prendas de la elite y su obtención estaba regulada por mecanismos políticos, sociales, religiosos y culturales. Se trata de un claro ejemplo de uso sustentable de un recurso natural. Hugo Yacobaccio, zooarqueólogo e investigador principal de CONICET, explica que *"actualmente el chaku concentra hasta 80 personas, pero durante el imperio inca participaban de a miles. Hoy las comunidades venden esa fibra a acopiadores textiles y obtienen un ingreso que complementa su actividad económica principal, el pastoreo de llamas y ovejas"*.

El proceso comienza con la reunión de todos los participantes, luego toman una sogá con cintas de colores reunidos en semicírculo y arrean lentamente a las vicuñas guiándolas hacia un embudo de red de 1 km de largo que desemboca en un corral. Cuando los animales están calmados se los esquila manipulándolos con sumo cuidado para reducir el stress y se los libera. Hoy, 1500 años después del primer registro que se tiene de esta ceremonia, la ciencia argentina suma como valor agregado: el bienestar animal y la investigación científica. En tiempo del imperio Inca, el chaku se realizaba cada cuatro años, actualmente se realiza anualmente sin esquilarse a los mismos animales *"se van rotando las zonas de captura para que los animales renueven la fibra"* explica Yacobaccio. Según Vilá *"es un proyecto que requiere mucho trabajo pero que demuestra que la sustentabilidad es posible, tenemos un animal vivo al cual esquilamos y al cual devolvemos vivo a la naturaleza. Tiene una cuestión asociada que es la sustentabilidad social ya que la fibra queda en la comunidad para el desarrollo económico de los pobladores locales."*

Yanina Arzamendia, bióloga, investigadora asistente de CONICET y miembro del equipo de VICAM, explica que se

esquilan sólo ejemplares adultos, se las revisa, se toman datos científicos y se las devuelve a su hábitat natural. Además destaca la importancia de que el chaku se realice como una actividad comunitaria *“en este caso fue impulsada por una cooperativa de productores locales que tenían vicuñas en sus campos y querían comercializar la fibra. Además participaron miembros del pueblo originario, estudiantes universitarios y científicos de distintas disciplinas. Lo ideal es que estas experiencias con orientación productiva tengan una base científica.”*

Paradojas del éxito.

La recuperación de la población de vicuñas produjo cierto malestar entre productores ganaderos de la zona. Muchos empezaron a percibir a la vicuña como competencia para su ganado en un lugar donde las pasturas no son tan abundantes. En este aspecto el trabajo de los investigadores de CONICET fue fundamental, según Arzamendia *“el chaku trae un cambio de percepción que es ventajoso para las personas y para la conservación de la especie. Generalmente el productor ve a las vicuñas como otro herbívoro que compite con su ganado por el alimento y esto causa prejuicios. Hoy comienzan a ver que es un recurso valioso y ya evalúan tener más vicuñas que ovejas y llamas. Nuestro objetivo es desterrar esos mitos”,* concluye.

Pedro Navarro es el director de la Cooperativa Agroganadera de Santa Catalina y reconoce los temores que les produjo la recuperación de la especie: *“Hace 20 años nosotros teníamos diez, veinte vicuñas y era una fiesta verlas porque habían prácticamente desaparecido. En los últimos años se empezó a notar un incremento y más próximamente en el último tiempo ya ese incremento nos empezó a asustar porque en estas fincas tenemos ovejas y tenemos llamas”. Navarro identifica la resolución de estos problemas con el trabajo del grupo VICAM: “Yo creo que como me ha tocado a mí tener que ceder en parte y aprender de la vicuña y de VICAM, se puede contagiar al resto de la gente y que deje de ser el bicho malo que nos perjudica y poder ser una fuente más productiva.”*

La fibra de camélido

Además de camélidos silvestres como la vicuña o el guanaco, existen otros domesticados como la llama cuyo manejo es similar al ganado, para impulsar la producción de estos animales y su fibra, el Estado ha desarrollado dos instrumentos de fomento. En la actualidad se encuentran en evaluación varios proyectos para generar mejoras en el sector productor de fibra fina de camélidos que serán financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Se trata de dos Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial destinados a la agroindustria y al desarrollo social que otorgarán hasta \$35.000.000 y \$8.000.000 respectivamente. Los proyectos destinados a la Agroindustria son asociaciones entre empresas y organismos del sector público con el objetivo de mejorar la calidad de la fibra de camélido doméstico a partir del desarrollo de técnicas reproductivas, mejoramiento genético e innovaciones en el manejo de rebaños; incorporar valor a las fibras a partir de mejoras en la materia prima o el producto final; permitir la trazabilidad de los productos para lograr su ingreso en los mercados internacionales y fortalecer la cadena de proveedores y generar empleos calificados.

La convocatoria Desarrollo Social tiene como fin atender problemas sociales mediante la incorporación de innovación en acciones productivas, en organización social, en el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de vida de manera sostenible y fomentar la inclusión social de todos los sectores. Otorgará hasta \$8.000.000 por proyecto que mejore las actividades del ciclo productivo de los camélidos domésticos, la obtención y/o el procesamiento de la fibra, el acopio, el diseño y el tejido, el fieltro y la confección de productos.



PANORAMA ACTUAL Y GLOBAL DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SUS RELACIONES AMBIENTALES Y SOCIALES.

Palabras clave: turbinas eólicas, energía eólica, energías renovables, energías limpias.
Key words: wind turbines, wind energy, renewable energies, clean energies.

La energía eólica ha crecido considerablemente en los últimos años. Actualmente, la potencia eólica instalada en el mundo se aproxima a los 500.000 MW. Está presente en más de 90 países y compite con éxito con la generación eléctrica convencional creando cientos de miles de puestos de trabajo, liderando el camino hacia un futuro de energía limpia. El desarrollo tecnológico alcanzado por estas máquinas es notable por su tamaño y potencia. La mayor es la V164 de Vestas que supera los 135 m de alto con una potencia nominal de 9,5 MW. América Latina también muestra un notable crecimiento. A fines del año 2016 llegó a 16.060 MW lo que constituye el 2% de la capacidad mundial. En la Argentina, el desarrollo de la energía eólica comienza en 1980 con el diseño y construcción de la Turbina Eólica Argentina de 10 KW y se sigue ampliando con el programa "RenovAr", con el que se espera que para el año 2025 el 20% de la energía producida en el país provendrá de fuentes renovables.

■ Ricardo A. Bastianon

Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
Ciudad Universitaria, Ruta Prov. N° 1, Km 4.
(9005) Comodoro Rivadavia, Chubut.

E-mail: bastianon2001@yahoo.com.ar

In recent years, wind energy has grown considerably. The installed wind power in the world is close to 500,000 MW. It is present in more than 90 countries and competes successfully with conventional power generation creating hundreds of thousands of jobs, leading the way to a future of clean energy. Technological development achieved by these machines is remarkable for its size and power. The largest is Vestas V164 that exceeds 135 m high with a nominal power of 9.5 MW. Latin America also shows outstanding growth. At the end of 2016 it reached 16,060 MW, which constitutes 2% of the world capacity. The development of wind energy in Argentina began in 1980 with the design and construction of the Argentine Wind Turbine of 10 KW and continues to expand today with the "RenovAr" program, with which it is expected that by 2025 the 20% of the energy produced in the country will come from renewable sources.

■ INTRODUCCIÓN.

Actualmente, casi el 90% de la energía primaria en el mundo proviene de los combustibles fósiles: carbón, petróleo o gas natural.

Los combustibles fósiles han contribuido en gran medida al desarrollo tecnológico del mundo moderno. Tienen una enorme concentración de energía y pueden estar fácilmente disponibles para su uso.

Estas son las maravillas de los combustibles y la razón por la cual su utilización se ha difundido ampliamente y ha permitido gran parte del desarrollo industrial.

Sin embargo, nada es gratis y estas ventajas se ven opacadas por la contaminación que producen.

Además, los combustibles fósiles no son renovables. Se agotan y contaminan. Contaminan el agua y el

aire, producen la pérdida de la biodiversidad y destruyen la naturaleza en variados aspectos que generan el alarmante cambio climático que estamos viviendo.

Por estas razones se está incrementando la lucha para reducir la utilización de los combustibles fósiles a nivel mundial.

Dentro de los esfuerzos que se vienen realizando están los desarro-

llos de las grandes turbinas eólicas para la generación de electricidad y también la implementación de los sistemas de almacenamiento de energía que permita la incorporación efectiva de las renovables.

■ **PARQUES EÓLICOS.**

Un parque eólico es una central de generación eléctrica con varias o muchas turbinas donde la fuente de energía es el viento. Normalmente alimenta a la red nacional si bien, en algunos casos particulares, el parque puede estar conectado directamente a la red de distribución de una ciudad o de una población cercana.

Estos parques pueden estar situados en tierra o en el mar. Algunos de ellos con una potencia instalada que supera los 1.000 MW.

Los parques eólicos marinos se están desarrollando con fuerza especialmente en Europa.

En el mundo, la energía eólica está presente en más de 90 países. Compite con éxito con la generación eléctrica convencional creando cientos de miles de puestos de tra-



Figura 1: Parque eólico Tehachapi, California.



Figura 2: Parque eólico en el Mar del Norte de 12,6 GW.



Figura 3: Fuente GWEC.

bajo y liderando el camino hacia un futuro de energía limpia.

En la Fig. 3 se observa el notable crecimiento de la potencia eólica instalada en el mundo que se aproxima a los 500.000 MW.

Es también impresionante el desarrollo tecnológico alcanzado por

estas máquinas que permite la construcción de turbinas de gran tamaño. Como ejemplo se muestra en la Fig. 4 la más grande y potente del mundo, la V164 de Vestas de 9,5 MW de potencia nominal que supera en altura a la rueda de Londres de 135 m de alto.

Hay más aún. En la Universidad

de Virginia de Estados Unidos se está desarrollando el próximo gigante. Una turbina eólica de 50 MW que tendrá 500 m de alto. La hélice con palas de 200 m tendrá una estructura flexible para soportar fuertes vientos. El interrogante general es si el nivel de la tecnología actual permitirá este desafío, Fig. 5.

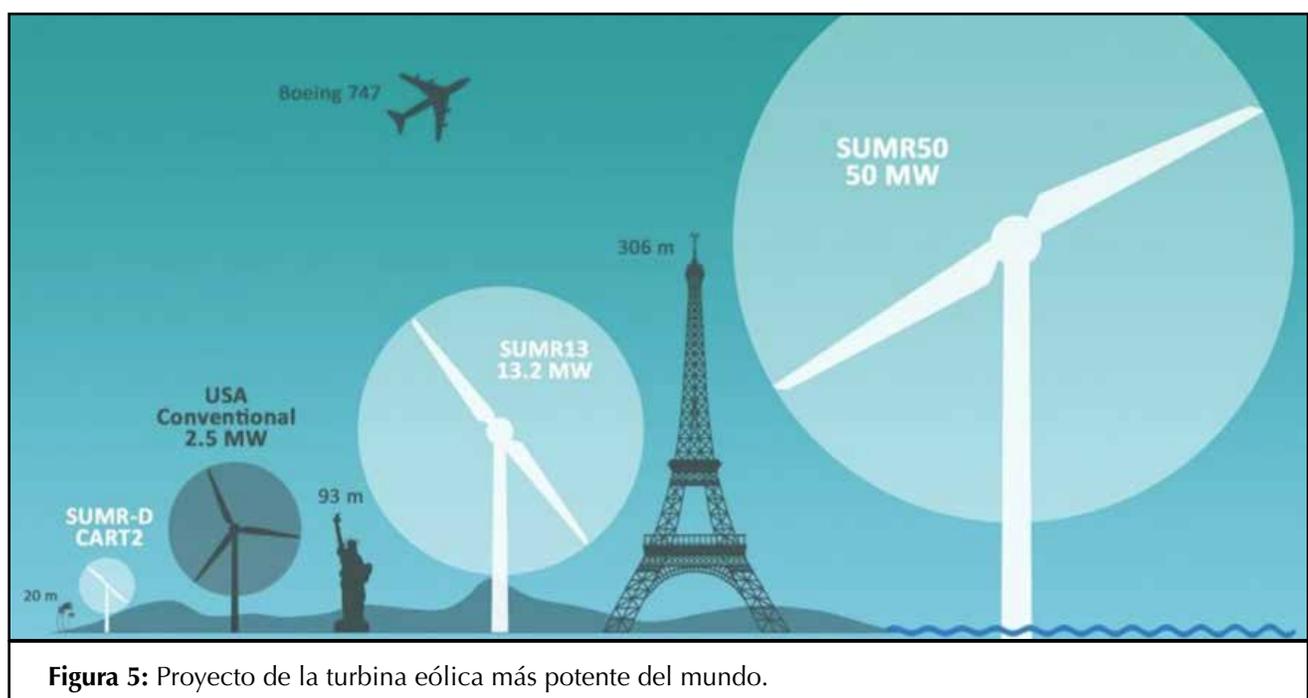
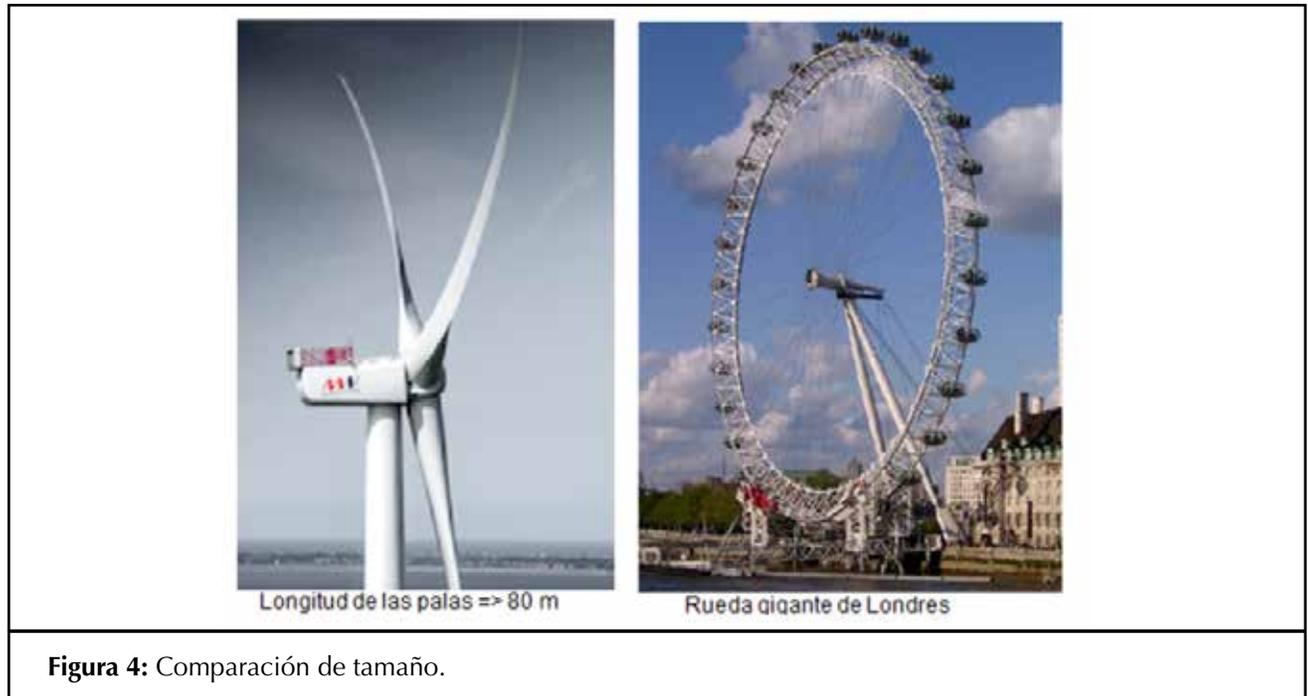




Figura 6: Grandes turbinas eólicas en el mundo.

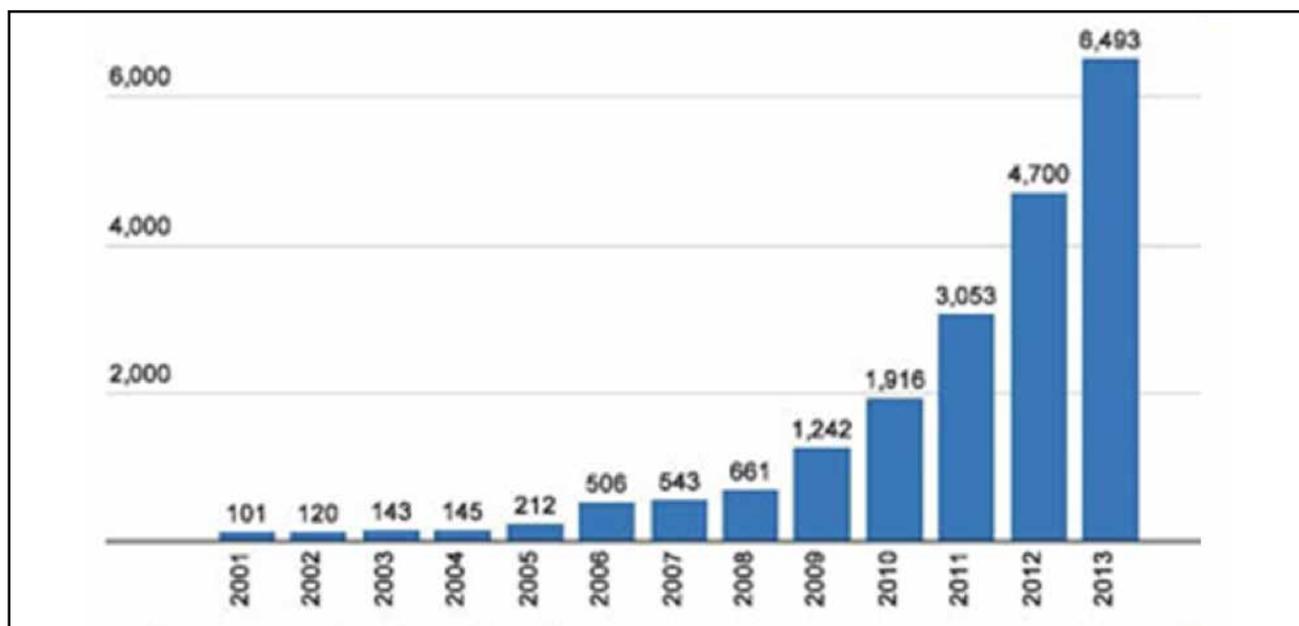


Figura 7: Potencia eólica instalada en América Latina en MW.

En la Fig.6 se muestran las grandes turbinas de distintos países.

■ ENERGÍA EÓLICA EN AMÉRICA LATINA.

América Latina también muestra un notable crecimiento en su potencia eólica instalada, Fig.7. A fines del año 2016 llegó a 16.060 MW lo que constituye el 2% de la capacidad mundial.

Uruguay representa un caso interesante para analizar y tal vez para imitar. En Marzo 2016 el aporte de la generación eólica de electricidad fue del 22% de la demanda. A nivel mundial corresponde:

Dinamarca	42%
Portugal	23%
Uruguay	22%
España	19%
Alemania	15%
Brasil	6%

Un factor importante en el desarrollo eólico del Uruguay fue la planificación de la política energética a 25 años, del 2005 al 2030. El plan energético fue aprobado por todos los partidos políticos como una Política de Estado. En su puesta en marcha, no se ofrecieron subsidios sino licitaciones con "transparencia y seguridad al inversor".

Estos hechos generaron un marco de estabilidad para los inversores y atrajo empresas privadas internacionales.

En la Figura 8, se puede apreciar el crecimiento de las instalaciones eólicas y las proyecciones futuras, estimando llegar a 2.000 MW para el 2020.

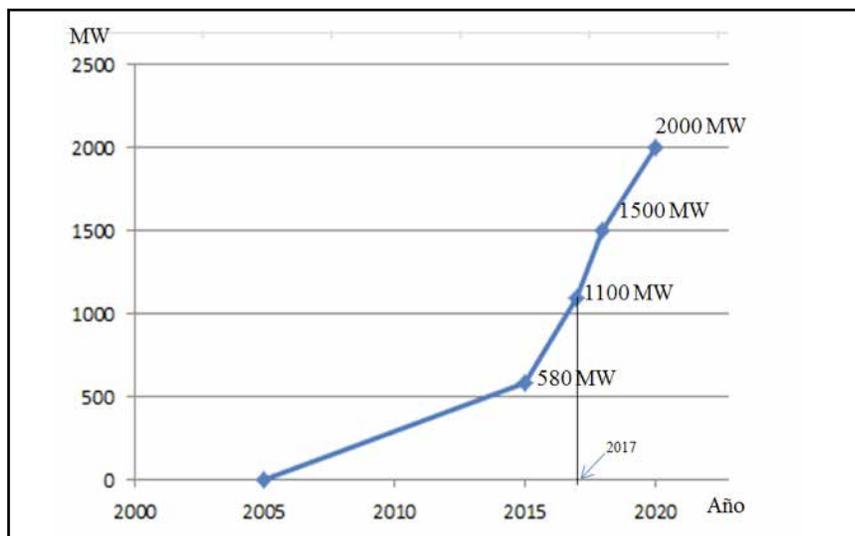


Figura 8: Potencia eólica instalada en Uruguay.

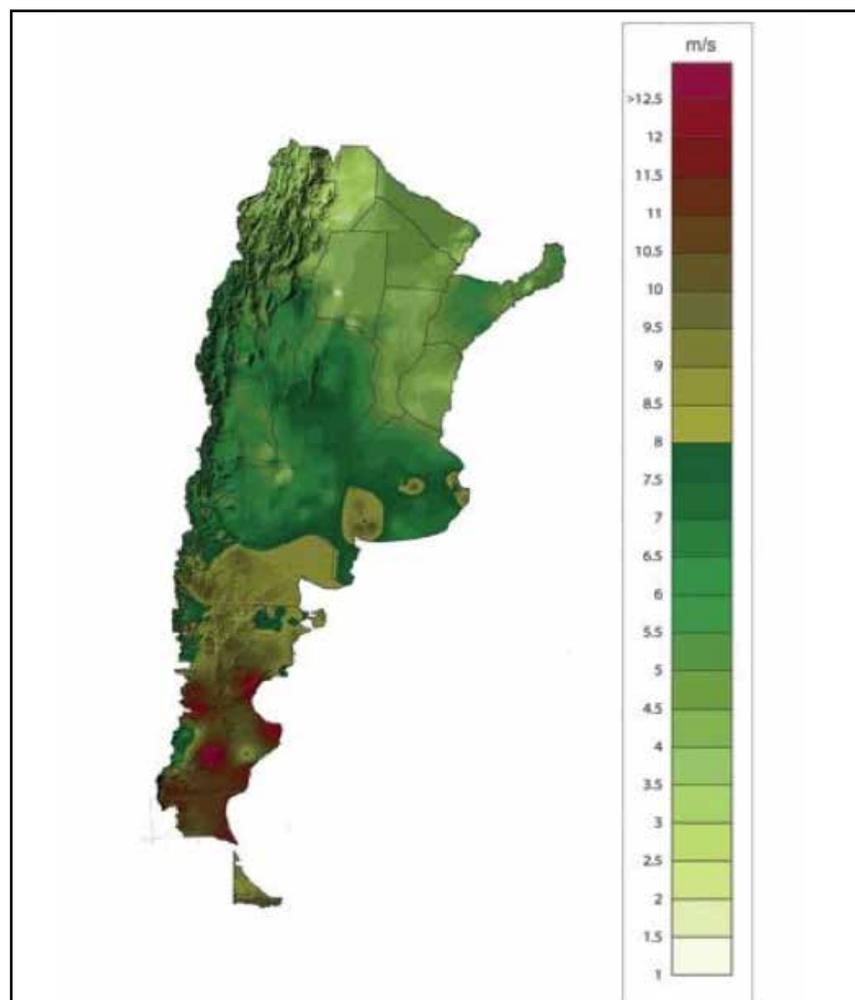


Figura 9: Vientos en Argentina. Velocidad Media Anual a 50m de altura en m/s.

Fuente: Centro Regional de Energía Eólica - Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.



Figura 10: Parques eólicos y proyectos de parques en Argentina.

ENERGÍA EÓLICA EN ARGENTINA.

La región patagónica de la República Argentina posee niveles de vientos excepcionales para la generación eólica de electricidad, Fig. 9.

Estas notables condiciones naturales han sido aprovechadas con unas pocas instalaciones de pequeños parques eólicos. Se muestran en la Fig.10.

La instalación total en 2016 apenas llegaba a 279 MW o sea el

0,06% de la instalación mundial y el 1,7% de la instalación en América Latina.

PRIMERA TURBINA EÓLICA.

El desarrollo de la energía eólica en Argentina comienza en 1980

Zona	MW	% del Mundial
Mundo	486.749	100
América Latina	16.060	3,3
Argentina	279	0,057

Figura 11: Potencia eólica instalada a fines del 2016.

con el diseño y construcción de la Turbina Eólica Argentina (T.E.A.), Fig. 12 y ref. 1.

La Armada Argentina, considerando que la provisión de combustible para sus bases de la Antártida le resultaba sumamente costosa y que demandaba una compleja operación de transporte, decidió iniciar un programa de construcción de turbinas eólicas para ser utilizadas en esa región austral. Este programa también recibió el apoyo de la Secretaría de Energía y de la Secretaría de Ciencia y Técnica mediante su Programa de Energía No-Convencional.

Comenzó en la Facultad de Ingeniería de la UBA, desde la cátedra de Dinámica de los Fluidos donde con mis alumnos, ensayamos pequeños modelos en el túnel de viento.

El mayor desafío fue la construcción de la hélice que requirió inicialmente poner a punto un método de cálculo para lograr una hélice óptima, capaz de captar la máxima potencia disponible en el viento.

En esta época, las hélices para turbinas eólicas eran construidas internacionalmente en diversos materiales tales como madera, tela, aluminio, acero y materiales compuestos. Un análisis de posibilidades nos mostró la notable ventaja de los materiales compuestos para la fabricación de las palas. En particular, la fibra de vidrio con resina epoxy con una elevada relación resistencia-peso, a un precio razonable, permitió la fabricación de la compleja forma de los perfiles aerodinámicos de elevado rendimiento con que se construyeron las palas de la hélice.

En Octubre de 1983, la turbina fue instalada en Vicente López, donde fue visitada por gran número de interesados en el tema entre los que



Figura 12: Turbina Eólica Argentina (T.E.A) de 10 KW.

se incluyó a periodistas de diarios y revistas nacionales y extranjeras que documentaron el funcionamiento de la turbina más grande y de mayor potencia construida en Sudamérica.

■ LEY EÓLICA.

Los tiempos mejoran. A princi-

pios de 2016 se inició en Argentina el programa "RenovAr", que proyecta que para el año 2025, el 20% de la energía producida en el país deberá provenir de fuentes renovables, Fig.13.

Mediante el Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar se promo-

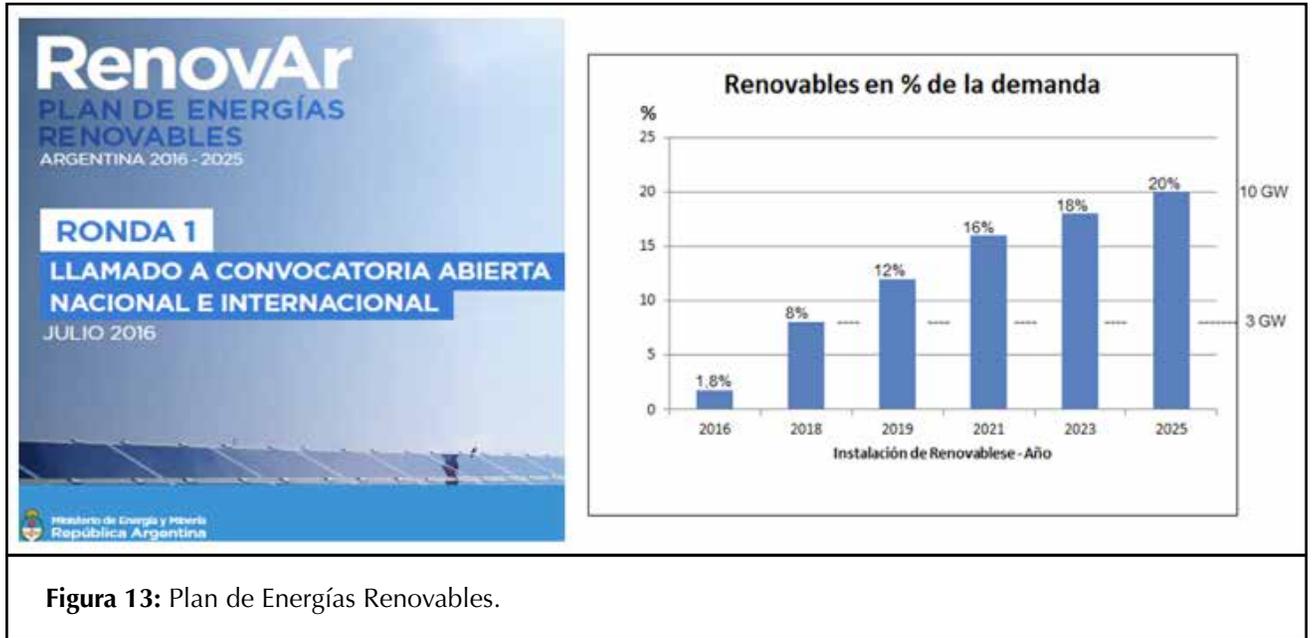


Figura 13: Plan de Energías Renovables.

ciona la investigación y el uso de las energías renovables y establece que las inversiones para instalar equipos eólicos y solares podrán diferir el pago del IVA por 15 años. Adicionalmente, se remunerará con 1 cent./KWh generado y volcado al MEM o destinado a servicios públicos.

Para mayor información se puede consultar en:

https://www.minem.gob.ar/servicios/archivos/6548/AS_14695676441.pdf

■ CONCLUSIÓN.

El Plan RenovAr para fomentar la generación de energías renovables está demostrando ser sumamente positivo y la Argentina enfrenta una ocasión extraordinaria para desarrollar todo el potencial energético

que representa el recurso eólico de nuestra Patagonia.

■ REFERENCIA.

1.- Bastianon R. A. "Energía del Viento y Diseño de Turbinas Eólicas". Buenos Aires, 2013.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONECTADA A RED.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Generación Distribuida, Modelos Tarifarios, Regulación.
Key words: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Tariff Models, Regulation.

En los últimos años las Energías Renovables (ER) han tenido un progresivo protagonismo en la generación de electricidad en diversas partes del mundo, el cual ha sido motivado esencialmente por la creciente conciencia sobre la irreversibilidad del cambio climático producido por las emisiones de gases de efecto invernadero por la combustión de combustibles fósiles. Entre las tecnologías de generación mediante fuentes renovables, la Energía Solar Fotovoltaica (FV) se destaca a nivel global por su rápido crecimiento, como consecuencia de las políticas de promoción de algunos estados nacionales y su abaratamiento producto de la economía de escala, en un marco de continuo crecimiento tarifario en el sector eléctrico que vuelve aún más competitiva su implementación.

En el presente artículo se pasa revista al estado actual del desarrollo de la energía solar FV en el contexto de las ER, tanto a nivel global como local, se consideran las estrategias de generación centralizada y distribuida y, asimismo, se comentan los proyectos desarrollados por la CNEA para la instalación de sistemas piloto conectados a la red para la generación distribuida. Finalmente, se resumen los distintos modelos tarifarios, así como los aspectos legales y normativos vigentes en el país.

In recent years, Renewable Energies (RE) have had a progressive role in the electricity generation around the world, motivated essentially on an increasing awareness about the irreversibility of climate change produced by greenhouse gas emissions associated with the burning of fossil fuels. Among renewable generation technologies, Photovoltaic Solar Energy (PV) emerges at global level due to its rapid growth, as a consequence of promotion of national policies in several countries as well as the continuous reduction of costs in PV industry due to scale economy, within the framework of increasingly tariffs in the electricity sector that make PV implementation even more competitive.

In this article, the state of the art of PV development in the frame of the RE, at global and local level, is reviewed, strategies of centralized and distributed generation are considered, and also projects developed by CNEA for grid connected pilot systems installation for distributed generation are presented. Finally, the different tariff models are reviewed, as well as the legal and regulation aspects applicable in the country.

■ INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente de energía abundante, no contaminante y se encuentra disponible, en mayor o menor medida, en cualquier parte del planeta, pudiendo ser colectada y transformada en energía térmica o eléctrica en el lugar de utilización.

La conversión directa de energía solar en electricidad se obtiene mediante la utilización de dispositivos electrónicos, denominados celdas solares o fotovoltaicas (FV). El dispositivo fotovoltaico por excelencia es la celda solar de silicio cristalino (material semiconductor), consistente esencialmente en un diodo que transforma la radiación solar en co-

riente continua.

Las celdas solares se conectan, a su vez, en serie para dar lugar al componente básico de un sistema fotovoltaico, el módulo fotovoltaico o panel solar, con una potencia pico que puede variar entre unos pocos W_p y $350 W_p$ ¹. Los paneles solares de mayor potencia están formados

■ **Juan Plá*, Claudio Bolzi,
Julio César Durán**

Departamento Energía Solar, Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC-CNEA
*CONICET

E-mail: jduran@asades.org.ar

por una cadena de 72 celdas solares de silicio monocristalino conectadas en serie, trabajando a tensiones cercanas a 40 V.

El sistema fotovoltaico se completa con el denominado 'Balance del Sistema' (BOS, por *Balance of System*), que incluye, según la aplicación, algunos de los siguientes componentes: inversores de corriente continua a corriente alterna, acumuladores (baterías), transformadores, cables, equipo de monitoreo y componentes estructurales para la instalación de los módulos. Éstos pueden montarse sobre el piso (caso típico de las centrales de potencia) o en edificios (en terrazas, tejados, fachadas, casos representativos de generación distribuida). Asimismo, las instalaciones pueden ser fijas o contar con un sistema de seguimiento del Sol.

Existen, además, diversas tecnologías fotovoltaicas alternativas con diferente grado de madurez, entre las que cabe mencionar:

- películas delgadas (*Thin Film*, TF), principalmente telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y silicio amorfo (a-Si);
- dispositivos multijuntura basados en semiconductores III-V como el arseniuro de galio (GaAs), de uso habitual en aplicaciones espaciales, pero que han comenzado a utilizarse en los últimos años en usos terrestres en combinación con sistemas ópticos de concentración de la radiación solar (CPV, *Concentrating Photovoltaics*);
- tecnologías emergentes, tales como celdas solares basadas en perovskitas, sensibilizadas por colorante, y de materiales orgánicos.

Desde 1958 y hasta la primera crisis del petróleo en 1973, los sistemas FV tuvieron principalmente aplicación en los campos espacial, de las telecomunicaciones y militar. Las crisis del petróleo durante la década del 70 impulsaron el desarrollo de la tecnología fotovoltaica para usos terrestres. Desde mediados de la década del 90 las actividades en el campo FV recibieron un renovado impulso, esta vez gracias a la creciente presión ecologista de la sociedad y a la implementación de políticas de promoción a nivel estatales nacionales. Más recientemente, la fuerte reducción de costos de los paneles solares y de los sistemas fotovoltaicos en su conjunto, ha dado lugar a que en varios países se haya alcanzado un costo de generación con energía solar FV comparable al costo de generación con fuentes convencionales.

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse básicamente en dos categorías: (i) sistemas aislados, típicamente ubicados en áreas rurales sin acceso al servicio eléctrico de red, y (ii) sistemas conectados a la red eléctrica. A pesar de que los sistemas aislados son competitivos desde hace años en la mayoría de los casos, su tasa de crecimiento anual durante los últimos tiempos en el mundo ha sido sustancialmente menor que la correspondiente a los sistemas FV conectados a la red. Entre estos últimos, se destacan los sistemas integrados a edificios (*Building-Integrated Photovoltaics*, BIPV), que tienen el atractivo de la posibilidad de disminución de costos mediante el reemplazo de partes funcionales del edificio por módulos FV, minimizando además las pérdidas asociadas a la distribución al acercar la generación al punto de consumo.

■ LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL CONTEXTO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La demanda global de energía renovable continúa creciendo, habiendo llegado en 2015 a satisfacer el 19,3% del consumo total de energía, correspondiendo 9,1% a la biomasa tradicional, 4,2% a tecnologías modernas para la obtención de calor (biomasa, geotermia, solar térmica), 3,6% a energía hidroeléctrica, 1,6% a energía eléctrica provista por fuentes renovables (eólica, solar fotovoltaica, biomasa y geotermia), y finalmente, 0,8% correspondiente a la utilización de biocombustibles en el transporte [1]. Del restante, 78,4% se satisface mediante combustibles fósiles y 2,3% a través de la generación eléctrica de origen nuclear [1].

Por otra parte, cabe destacar que las emisiones globales de carbono asociadas con el consumo de energía permanecen estables desde 2014 al mismo tiempo que la economía global creció: mientras que las anteriores disminuciones en las emisiones estuvieron relacionadas con la desaceleración económica global, la actual estabilización está asociada al simultáneo aumento de la penetración de las energías renovables, la disminución del uso del carbón, y las mejoras en la eficiencia energética [1].

Respecto a su participación en la matriz eléctrica, a fin de 2016, la potencia eléctrica total de origen renovable instalada en el mundo alcanzó los 2017 GW, un 9% más que en 2015, correspondiendo 1096 GW a la hidroelectricidad, con un crecimiento del 2,3% con respecto a 2015, y 921 GW al resto de las fuentes renovables, con un crecimiento del 17,3% respecto del mismo año. En este marco, la energía eólica y la solar fotovoltaica aportaron el 95% de la nueva capacidad de origen

renovable no hidráulica instalada en 2016. En este contexto, solar FV representó el 47% de la nueva capacidad instalada, mientras que eólica y la hidroeléctrica dieron cuenta de la mayor parte del restante con una contribución del 34% y 15,6% respectivamente. Cabe destacar asimismo que el crecimiento interanual de la potencia instalada de solar FV fue del 32,9%, en tanto que el correspondiente a eólica fue del 12,5%.

En términos generales, las energías renovables aportaron alrededor del 62% de la nueva potencia eléctrica instalada en 2016, entregando un total del 24,5% de la electricidad a nivel global, de los cuales 16,6% corresponde a hidroelectricidad (ver Fig. 1) [1].

Puede verse entonces que, aunque con un aporte todavía pequeño en lo referido a la demanda global de energía, las energías renovables modernas crecen a un ritmo sostenido y se encuentran aún ante un enorme potencial.

En algunos países, la generación por ER alcanzó importantes niveles de penetración. En Latinoamérica, la participación de las ER en la matriz eléctrica superaba largamente el 50% en diversos países ya en el año 2015 [3]: Costa Rica (99%), Uruguay (94,5%), Brasil (73,5%), Guatemala (53,5%), Colombia (67,9%). En 2016, según datos proporcionados por instituciones nacionales oficiales, la generación eólica satisfizo el 37,6% de la demanda eléctrica en Dinamarca, el 27% en Irlanda, el 24% en Portugal, el 19,7% en Chipre y el 10,5 % en Costa Rica, mientras que la generación solar FV dio cuenta del 9,8% de la demanda en Honduras, 7,3% en Italia, 7,2% en Grecia, y 6,4% en Alemania [1].

Una forma alternativa de evaluar la penetración de la generación FV

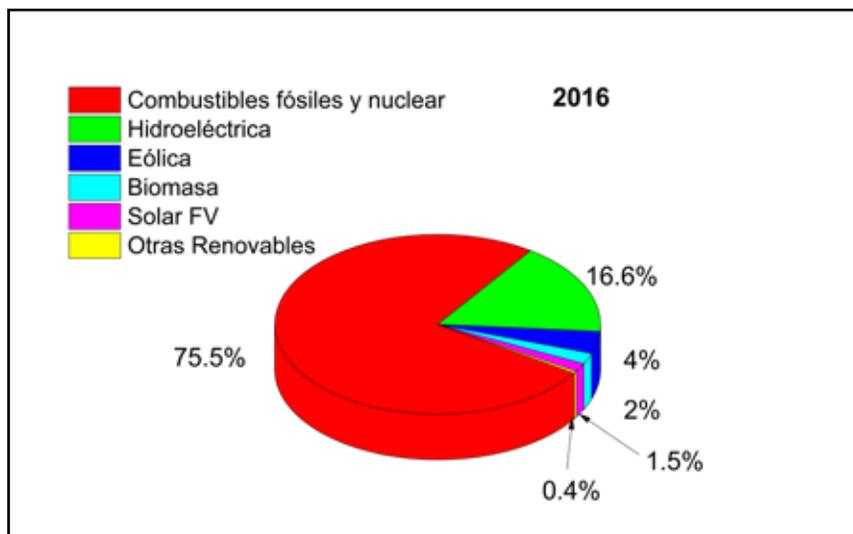


Figura 1: Participación en la matriz de generación eléctrica de las distintas tecnologías en el año 2016. Por Biomasa se entiende la generación a partir de combustibles de ese origen, según la descripción que puede verse en [2].

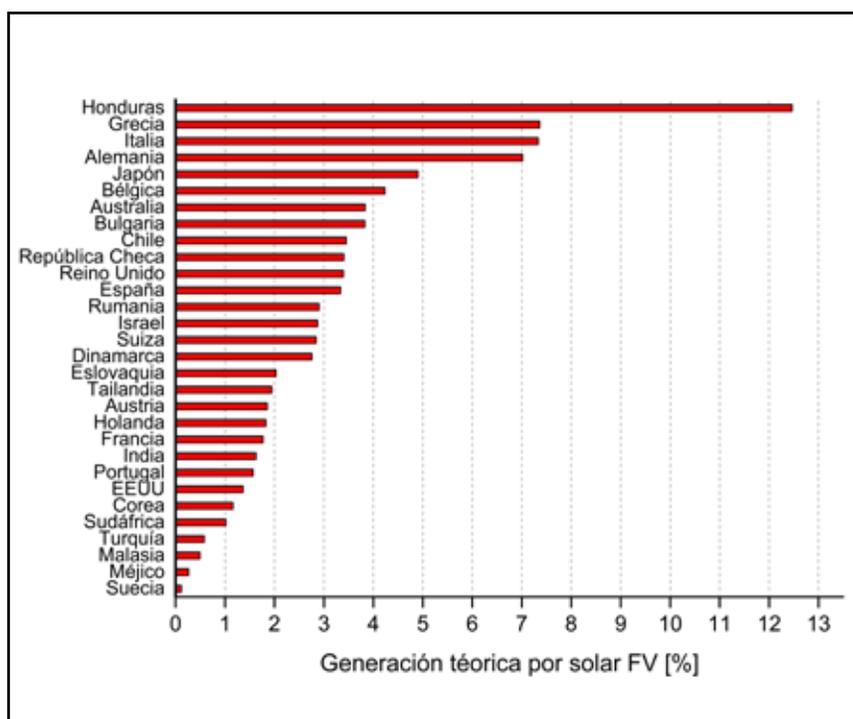


Figura 2: Estimación teórica de la producción eléctrica mediante energía solar FV basada en la capacidad total instalada a fines de 2016. La misma está expresada como porcentaje de la demanda de electricidad a nivel nacional. Fuente: [4].

en el mercado eléctrico en numerosos países es la presentada por la IEA (*International Energy Agency*) en [4], donde se hace una estimación de la generación teórica de acuerdo con la capacidad instalada y valores

medios anuales de la energía solar disponible. Los resultados se muestran en la Figura 2.

Este impulso expansivo del mercado FV se debe a la continua dis-

minución en los precios de los componentes involucrados que llevaron a una creciente competitividad con respecto a otras fuentes de generación, el aumento de la demanda de electricidad, y la potencialidad de solar FV para reducir la emisión de gases de efecto invernadero [1].

■ EL MERCADO FOTOVOLTAICO

A fines de 2016 se registró un total de capacidad instalada de solar FV a nivel global de 303 GW, con un incremento del 48% con respecto a 2015. La evolución de dicha capacidad instalada, desde 1994 hasta 2016, puede verse en la Figura 3.

Por cuarto año consecutivo, el mercado asiático dominó el mercado global, confirmando la tendencia registrada a partir de la aparición de China como el principal mercado FV. Un análisis más detallado de la evolución del mercado según países y regiones en los últimos años puede encontrarse en [5].

La Figura 4 muestra la potencia instalada para los primeros 10 países al año 2016, junto con el detalle de la potencia adicionada durante el último año. De la misma resulta claro el predominio del mercado en países asiáticos, principalmente China, seguida por Japón aunque en declive, mientras los países europeos continúan disminuyendo su participación relativa (con la excepción del Reino Unido), y los mercados emergentes de EEUU e India ratifican su crecimiento.

En los últimos años, Latinoamérica ha incrementado significativamente su participación en el mercado fotovoltaico global [6] a través, esencialmente, de la instalación de centrales de potencia. Los precios de la energía solar FV en la región continúan reduciéndose en forma sostenida, habiendo alcanzado un

valor récord de 29 U\$/MWh en una licitación realizada en Chile durante la segunda mitad de 2016. Chile continúa liderando la región en cuanto a la potencia FV total instalada, habiendo superado los 1800 MW. Por su parte, México ejecuta durante 2017 las primeras etapas de un ambicioso programa cuyo objetivo es instalar un total de 4,2 GW FV durante los próximos años.

La generación distribuida² mediante energía solar fotovoltaica está en alza en algunos mercados tales como México y Brasil, aunque aún su participación en el mercado FV de la región es baja comparada con otros mercados como, por ejemplo, el europeo. Según la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), Brasil tiene cerca de 130 MW en sistemas FV distribuidos de baja potencia, en su gran mayoría en instalaciones residenciales, la mayoría de ellas instaladas entre 2016 y 2017. Por su parte, las instalaciones solares de generación distribuida

podrían triplicarse durante 2017 en México, por medio de la instalación de aproximadamente 50.000 sistemas fotovoltaicos en el país, incremento impulsado en gran parte por la nueva regulación.

En lo referido a la distribución del mercado según tecnologías, el mismo es históricamente dominado por el Si cristalino (en sus formas mono y policristalina), habiéndose reforzado en los últimos años la tendencia a utilizar Si policristalino dado su menor costo. A 2016, el Si cristalino da cuenta del 94% del mercado, del cual aproximadamente el 70% corresponde al Si policristalino, mientras que la participación de las distintas tecnologías de película delgada llega al 6%. La evolución de la participación de cada tecnología entre 1980 y 2016 se detalla en la Figura 5.

La tecnología CPV, que utiliza concentración óptica de la radiación solar directa, posee ya produc-

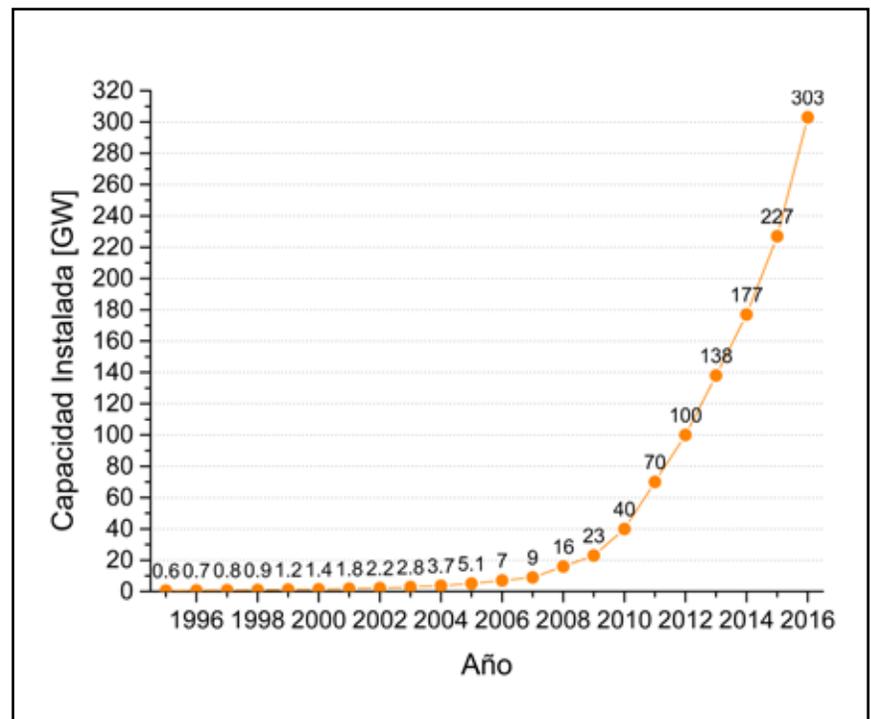


Figura 3: Evolución de la capacidad instalada acumulada de energía solar FV a nivel global (1995-2016). Fuente: Ren21 [1,5].

tos comerciales, pero ha encontrado dificultades para penetrar en el mercado FV. Con 370 MW de capacidad instalada a nivel global [8], resulta aún marginal entre las tecnologías ya establecidas. Entre otras razones, esto se debe a su reciente ingreso al mercado FV (alrededor de 2005), con la consecuente falta de experiencia y datos concretos acerca de confiabilidad de los sistemas, así como al continuo decrecimiento de los precios de la tecnología basada en el Si cristalino. Esto dificulta el cambio de escala y la estandarización de componentes de su industria.

Entre las tecnologías emergentes, las celdas solares basadas en perovskitas resultan de sencilla manufactura y se espera que sean relativamente poco costosas de producir. Asimismo, han experimentado un pronunciado salto en la eficiencia de conversión y avances en su estabilización a nivel laboratorio en años recientes [1]. Estos hechos la hacen una posibilidad atractiva, al punto que ya se ha planteado la apertura de una planta piloto de producción [9].

En lo referido a la distribución según segmento de aplicación, se han verificado cambios en los últimos años relacionados con la evolución del mercado FV y con las políticas nacionales de intervención en el mismo. Desde su inicio como fuente de energía hasta mediados de la década de 1990, solar FV se estableció como alternativa tecnológica confiable y económicamente competitiva en sistemas autónomos para proveer electricidad a sitios alejados de la red eléctrica, básicamente la electrificación de áreas rurales. Luego, al establecerse políticas nacionales activas para la promoción de la generación solar FV, a través

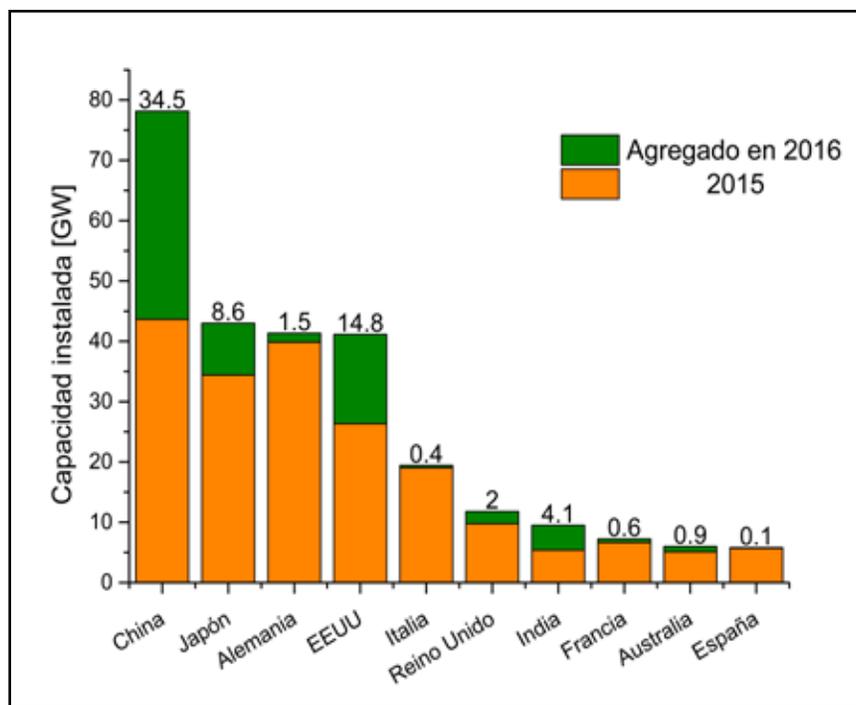


Figura 4: Capacidad total instalada de solar FV en los 10 primeros países al año 2016. Se indica en forma diferenciada la capacidad agregada en el último año. Fuente: [1]

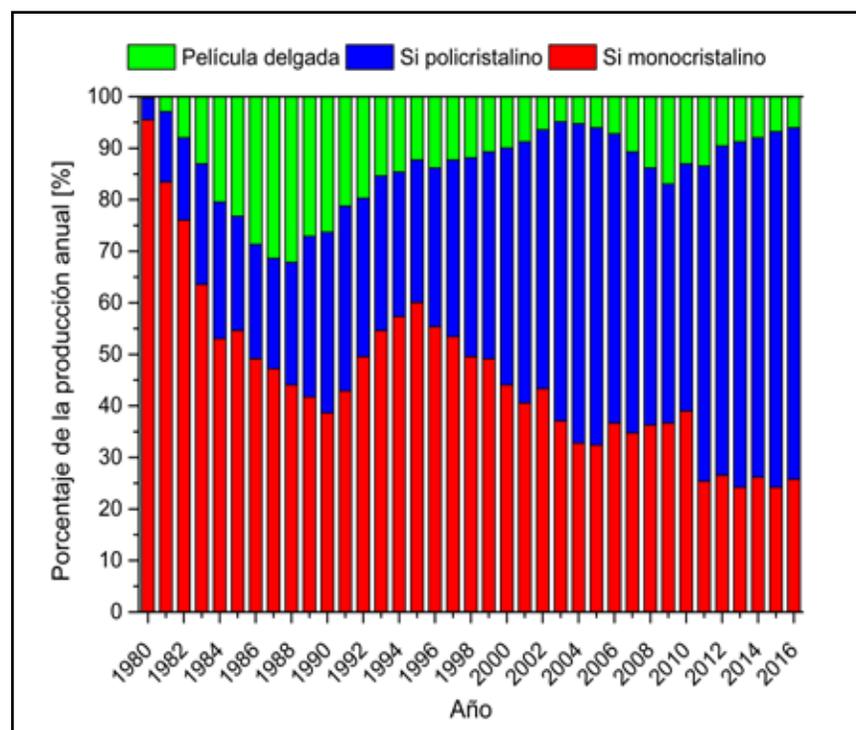


Figura 5: Distribución de la participación de cada tecnología según el año. Fuente: [7].

de subsidios aplicados a la instalación de sistemas o bien a la tarifa a la que se vende la energía generada, comenzaron a crecer mercados y la industria asociada a los mismos para satisfacer la demanda de, ahora, sistemas conectados a la red eléctrica en forma distribuida en las ciudades.

La última fase de desarrollo se experimenta en los últimos años, donde en cada vez más mercados solar FV resulta competitiva con las tecnologías convencionales de generación eléctrica. Mientras los subsidios disminuyen al obtenerse valores de generación más y más competitivos, el modelo de negocio va virando hacia esquemas tipo PPA (*Power Purchase Agreement*) que estimulan la instalación de grandes plantas FV para la obtención de mejores parámetros económicos asociados con la escala. En la Figura 6 puede verse la evolución de la participación en el mercado FV según el segmento de aplicación, en la cual se aprecia claramente la última tendencia mencionada.

■ MATRIZ ELÉCTRICA ARGENTINA

La matriz eléctrica argentina, como puede verse en la Figura 7, es fuertemente dependiente de los combustibles fósiles (65,44%), seguido por la producción hidroeléctrica (27,53%) y en menor medida la nuclear (5,56%). Se observa que la energía eólica y la energía solar fotovoltaica han tenido un aporte mínimo ya que sumadas alcanzaron apenas el 0,41% de la matriz [10].

Para dar cumplimiento a los compromisos contraídos respecto a la reducción de gases de efecto invernadero, diversificar la matriz de generación eléctrica, y cumplir con la ley 27191/15 (modificatoria de la ley 26190/06), se prevé la incorporación de energías renovables³ en

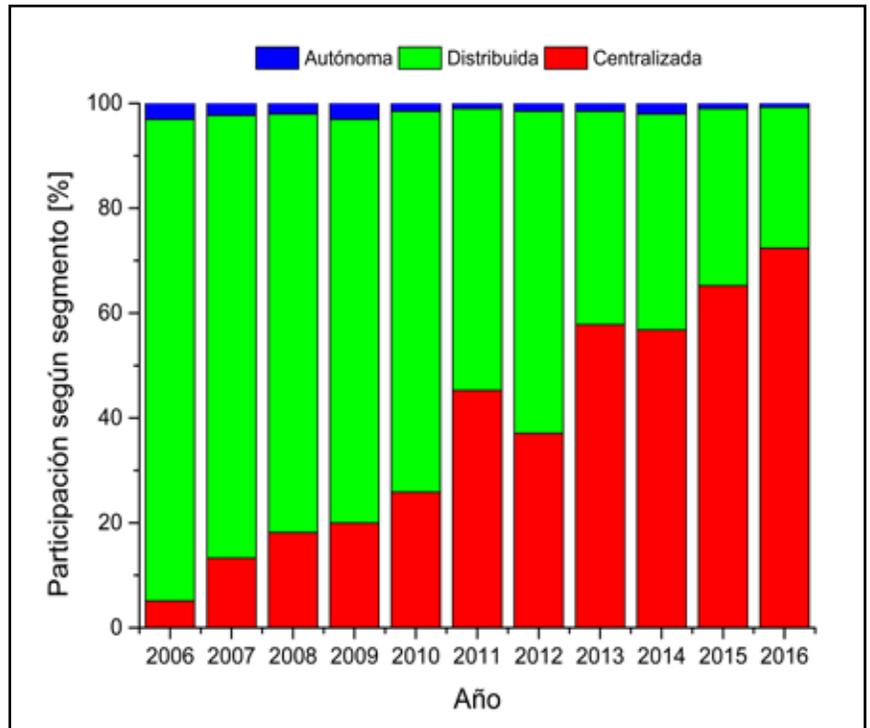


Figura 6: Participación de cada segmento de aplicación en el mercado FV en el período 2006-2016. Fuente: [1].

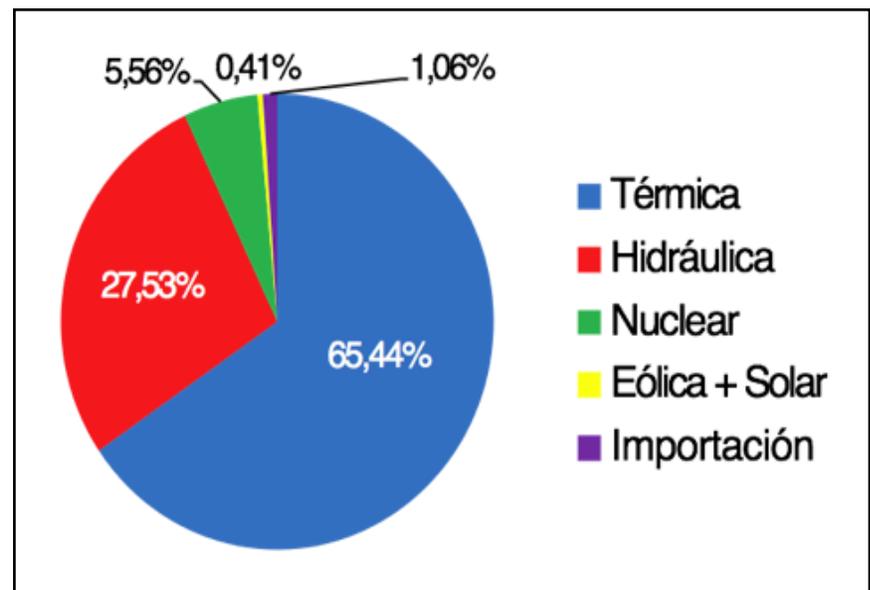


Figura 7: Generación por tipo de tecnología en la matriz eléctrica argentina 2016. Fuente: [10]

la producción de energía eléctrica, para llegar como objetivo a un 20% para el año 2025. Los objetivos de penetración de las energías renovables en la matriz eléctrica nacional, fijados por la ley 27191, pueden

verse en la Figura 8. El 2% indicado para el año 2016 corresponde a la suma de las contribuciones de eólica y solar, biocombustibles y pequeñas centrales hidroeléctricas (≤ 50 MW).

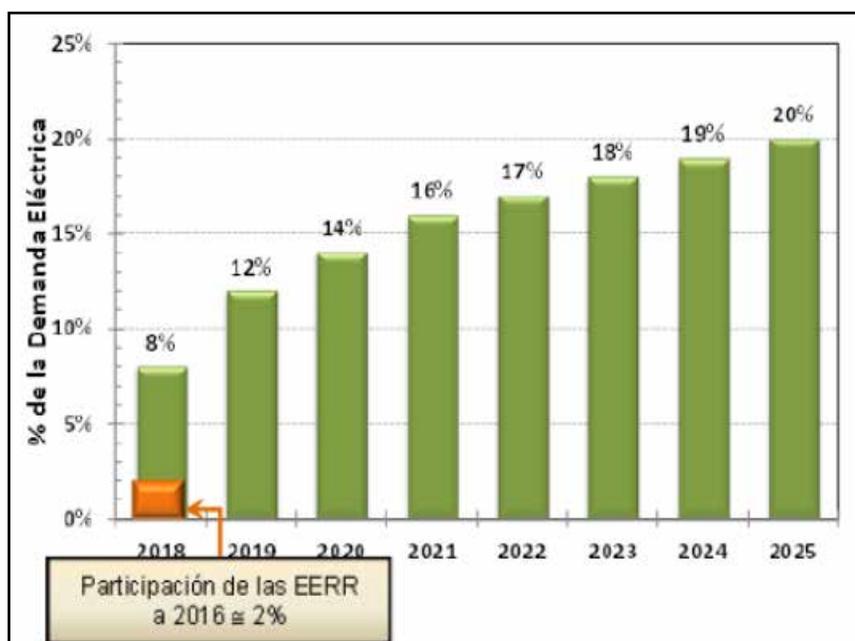


Figura 8: Participación de las energías renovables en la matriz eléctrica Argentina de acuerdo con lo especificado por la ley 27.191.

Sin embargo, hasta fines del 2016 la situación respecto a la generación de energía eléctrica a partir de conversión fotovoltaica, tal cual se mostró en la figura 8, no cumplió con las expectativas a pesar de las políticas planteadas oportunamente según lo descrito en la siguiente sección.

■ MERCADO FOTOVOLTAICO ARGENTINO

Hasta el año 2009, la capacidad FV instalada en la Argentina estaba mayormente ubicada en áreas rurales dispersas y alejadas de las redes eléctricas de distribución. A partir del año 2010 y como consecuencia de una serie de políticas nacionales (Ley 26190/06, Programa GENREN, Res. Secretaría de Energía N° 108/11) y provinciales de promoción que favorecieron fundamentalmente la instalación de centrales de potencia basadas en fuentes renovables, la capacidad FV instalada en la Argentina ha crecido sustancialmente.

El primer hito en dicha dirección

fue la puesta en operación de la planta FV de 1,2 MW en la localidad de Ullúm, San Juan, en el año 2010. En abril de 2012, la empresa 360 Energy inauguró la primera planta solar de 5 MW en Cañada Honda, San Juan, y un año después entró en operación otra planta de 2 MW en un predio contiguo. Actualmente, se encuentra en construcción otra planta de 5 MW en el mismo predio. Este parque solar se construye en el marco de un acuerdo de compra de energía del programa GENREN.

Entre las iniciativas provinciales se destaca el Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida (PROINGED, <http://www.proinged.org.ar/>), de la provincia de Buenos Aires. Como parte de este programa, se han instalado seis plantas fotovoltaicas en puntos críticos de la red de distribución eléctrica de la provincia, con una potencia total de 2,3 MW. Estas plantas inyectan en líneas de media tensión y permiten mejorar la calidad del servicio en lugares críticos donde el déficit energético suele compensarse con motores de generación diesel (caros

y altamente contaminantes) conectados a la red.

Sin embargo, no existían a nivel nacional regulaciones técnicas ni políticas de promoción que permitieran e impulsaran la instalación de sistemas FV conectados a las redes de baja tensión. El proyecto «Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos» [11], (iniciado a través de un proyecto ANPCyT-Fonarssec 2011 financiado por el MINCyT) descrito en la siguiente sección, pretendió paliar este déficit a través de la realización de acciones que contribuyeran a la introducción en el país de las tecnologías asociadas con la interconexión a la red eléctrica de sistemas solares FV distribuidos.

En 2016, a partir de la vigencia de la ley 27191/15 y con la intención de cumplir con el 8% de generación a partir de energías renovables, se realizaron llamados a licitación para cubrir dicha demanda en el marco del programa Renovar. En la Ronda 1, donde se buscaba adjudicar 1000 MW con renovables y se recibieron 123 ofertas por un total de 6366 MW [12], de los cuales 3468,7 MW fueron con generación eólica y 2813,1 MW con solar fotovoltaica.

A partir de esta gran cantidad de ofertas se permitió a quienes no fueron adjudicados en la Ronda 1 ofertar nuevamente con un límite superior en cuanto a precio de la energía, en la denominada Ronda 1.5. En esta etapa se recibieron 47 ofertas por un total de 2486 MW con generación eólica y solar fotovoltaica (1561,3 MW con Eólica y 925,1 MW con Solar), con un precio medio de aproximadamente 54 U\$/MWh.

En total, luego de estas dos rondas, se adjudicaron aproximada-

mente 2400 MW entre generación eólica y solar fotovoltaica como se desprende de la Información volcada en las Tablas 1 y 2 [12].

Durante el segundo semestre de 2017 se realizó la Ronda 2 del programa Renovar, donde se licitaron 1200 MW, habiéndose recibido 228 ofertas por un total de 9401,7 MW [12]. La mayoría de las ofertas recibidas, al igual que en los llamados anteriores, corresponden a eólica (58 proyectos, 3816,9 MW) y solar fotovoltaica (99 proyectos, 5291,5 MW), donde puede observarse un notable cambio respecto a la relación de ofertas entre eólica y solar comparado con las rondas 1 y 1.5.

Como referencia de precios de la energía en el mercado internacional, la Figura 9 muestra la evolución de las tarifas de los contratos de venta de energía eléctrica de plantas eólicas y solares FV en diferentes partes del mundo, en el período 2013-2016 [13]. Se observa claramente que en el año 2016 los precios para ambas fuentes fueron prácticamente iguales, cuando en 2013 los precios asociados a la generación FV eran alrededor de 50% superiores a la generación eólica.

■ GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DISTRIBUIDA

Se denomina generación eléctrica distribuida a la generación de electricidad cerca del punto de consumo, conectada a la red de distribución de media o baja tensión y ubicada del lado del consumidor (o sea, conectada a la red interna), o conectada directamente a la red pública de distribución [14]. La generación distribuida con renovables tiene numerosos beneficios entre los que cabe mencionar que baja los requerimientos de transporte, disminuye las pérdidas por transporte y distribución, contribuye a regular

Tecnología	Proyectos	MW	Energía Anual GWh/año	Provincias
Eólica	12	707	2.882	Buenos Aires, Chubut, Río Negro, Santa Cruz, Neuquén y La Rioja
Solar	4	400	918	Salta y Jujuy
Biogás	6	9	70	Santa Fe, San Luis y Córdoba
Biomasa	2	15	122	Corrientes y Misiones
PAH	5	11	68	Río Negro y Mendoza
Totales	29	1.142	4.060	14 Provincias

Tecnología	Proyectos	MW	Energía Anual GWh/año	Provincias
Eólica	10	765,4	3.037	Buenos Aires, Chubut, Río Negro, Santa Cruz, Córdoba, La Pampa y La Rioja
Solar	20	516,2	1.274	Catamarca, Salta, La Rioja, Mendoza, San Juan y San Luis
Totales	29	1.142	4.311	12 Provincias

tensión (por ejemplo, en extremos de línea), y reduce el quemado de combustibles fósiles y, en consecuencia, la fuga de divisas asociada a la importación de estos últimos. Por otra parte, los sistemas FV son los de mayor aplicación en áreas urbanas y más específicamente en la construcción, debido a su modularidad, su eficiencia no dependiente

de la escala y la facilidad de integración arquitectónica ya sea en reemplazo de elementos de construcción o ubicando los módulos FV sobre cubiertas o fachadas existentes.

Ante la ausencia de regulación y con el objeto de promover la introducción en el país de tecnologías asociadas con la utilización de siste-

los respectivos edificios, habiéndose sumado luego instalaciones conectadas directamente a la red pública.

Entre las distintas instalaciones se pueden mencionar 2 sistemas FV de aproximadamente 5 kW_p cada uno (Figura 10), ubicados en el edificio TANDAR del Centro Atómico Constituyentes (CAC). Uno de ellos es una pérgola en forma de alero y consta de 23 módulos FV de silicio policristalino y Tedlar transparente, configurados en 2 cadenas de 11 y 12 módulos respectivamente, conectados a un inversor de 4,6 kW.

Otra de las instalaciones, la de

mayor envergadura del proyecto, se encuentra ubicada en la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata (Figura 11). Tiene una potencia instalada de aproximadamente 17 kW_p (72 módulos FV de 240 W_p cada uno), con 4 inversores (3 de 4,6 kW y 1 de 2,8 kW), y provee alrededor de 22000 kWh/año, lo cual representa aproximadamente el 5% del consumo de dicha Facultad.

Se presentan a continuación algunas imágenes de otras instalaciones llevadas a cabo en el marco de este proyecto (Figuras 12, 13 y 14).

■ MODELOS TARIFARIOS

Los países que han sido pioneros en el desarrollo del mercado de la generación FV distribuida conectada a la red eléctrica pública, fundamentalmente Alemania, España e Italia, en Europa, y Japón, adoptaron en su momento un modelo tarifario basado en el pago de una tarifa diferencial, conocida como *Feed-In-Tariff* (FIT), para la energía eléctrica de origen renovable. Este modelo se ha empleado bajo distintas modalidades, pagando por ejemplo tarifas diferentes en función del tamaño o tipología de los sistemas, y decrecientes en función del tiempo, de



Figura 11: Pérgola FV de 17 kW_p en la Facultad de Informática de la UNLP.



Figura 12: Sistema FV de 1,92 kW_p instalado en la Universidad Nacional de Luján.



Figura 13: Sistema FV de 2,88 kW_p instalado en el EPEN (Ente Provincial de Energía de Neuquén (izquierda), y sistema en mobiliario urbano en Granadero Baigorria, Provincia de Santa Fe (derecha).



Figura 14: Sistema FV de 1,92 kW_p instalado en la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía (izquierda), y de 1,92 kW_p en la base Marambio, Antártida Argentina (derecha).

manera de reflejar la disminución de costos esperables por el crecimiento y madurez del mercado. Asimismo, en diversos países se han dado mayores incentivos a las instalaciones realizadas en edificios o sobre techos. El modelo de FIT ha permitido un crecimiento exponencial del mercado, aunque en algunos casos (España e Italia, por ejemplo) ha traído aparejados problemas derivados de un crecimiento explosivo y no sostenible que, sumado a la crisis financiera global de los últimos años, ha resultado nocivo para las industrias y las empresas de servicios nacionales [11].

Otro modelo utilizado es el de conteo neto de energía eléctrica (también conocido como *Net Metering*, NM), consistente en medir la energía neta consumida de la red eléctrica, definida como la diferencia entre la energía consumida y la energía generada por el sistema. Este sistema se utiliza en algunos países de la región, como Brasil, Uruguay, Chile y México, con escasos resultados en sus comienzos pero que parece estar dando lugar al desarrollo del mercado de generación distribuida en casos como Brasil y México. Es interesante notar que en la mayoría de estos países las tarifas

que abonan los usuarios no tienen mayores subsidios y reflejan, por lo tanto, mayormente los costos de generación.

Existe un tercer modelo, denominado de facturación neta (*Net Billing*, NB), en el cual el generador distribuido recibe por la energía inyectada a la red la tarifa mayorista que la compañía distribuidora paga por la energía al mercado eléctrico mayorista. Este modelo es aún más desfavorable para el usuario-generador dado que vende la energía generada a precio mayorista y compra la consumida a precio minorista, sig-

nificativamente más alto en el caso de usuarios residenciales. El modelo de facturación neta es el preferido por las empresas distribuidoras y las cooperativas dado que no modifica su modelo de negocios.

En la Argentina, diversos estudios muestran que la implementación de un modelo tarifario de medición neta o, peor aún, de facturación neta, como se están proponiendo en diversas provincias y en el proyecto de ley de generación distribuida que se está tratando en el Congreso Nacional, no resultaría un incentivo para la instalación de sistemas FV conectados a las redes de baja tensión, dado que las tarifas de la energía eléctrica convencional continúan estando subsidiadas [16] y los costos de instalación de los sistemas FV siguen siendo elevados en relación con los estándares internacionales. Es de destacar que la ley fomento de la generación distribuida mediante renovables promulgada en diciembre de 2017 (ver siguiente sección) prevé la implementación de instrumentos de promoción que contrarresten este contexto desfavorable para el desarrollo de la generación distribuida.

En otras palabras, la utilización de un modelo tarifario de medición o facturación neta implicaría hacer competir a la generación FV, sin subsidio, con energía eléctrica convencional comercializada por CAMMESA y las Empresas Distribuidoras, a precios muy inferiores a su costo de generación. Esto dificultaría la adopción, por parte del sector privado de tecnologías más limpias, sostenibles, previsible y económicas.

Una tarifa diferencial que promueva el desarrollo del mercado sin crear una expansión descontrolada y que disminuya progresivamente ha demostrado ser muy útil y eficaz. El caso alemán es el paradigma don-

de reflejarse, teniendo en cuenta las características locales del mercado y del desarrollo tecnológico. Éste debería ser el camino a transitar para conseguir el objetivo de masificar el uso de los sistemas fotovoltaicos en los ambientes urbanos y suburbanos de nuestro país.

■ LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

La Argentina tiene la mayor parte de su consumo eléctrico concentrado en los centros urbanos (el Área Metropolitana Buenos Aires, por ejemplo, consumió en 2016 el 39% de la demanda eléctrica del país [10]), junto con una gran extensión territorial. Dadas estas características, la utilización masiva de generación FV distribuida ubicada en áreas urbanas y periurbanas contribuiría al uso eficiente de la energía por reducción de las pérdidas por transporte, y a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. A tal fin, resulta fundamental implementar políticas de promoción de este tipo de instalaciones. La formulación de un marco regulatorio técnico, comercial, económico, fiscal y administrativo eficiente, es clave para optimizar el proceso de adopción tecnológico. Errores en cualquiera de esos aspectos retrasarían innecesariamente el proceso, como sucedió en España (sobre-estimulación de precios), Canadá (en los comienzos, proceso de habilitación de instalaciones complejo y burocrático), o EE.UU. (en algunos Estados se requieren protecciones redundantes que encarecen innecesariamente el costo del sistema) [11].

Las siguientes provincias cuentan con legislación y/o resoluciones sobre generación distribuida mediante fuentes renovables, aunque no todas ellas se encuentran operativas:

- Santa Fe: Res. EPE 442/10/2013

- Salta: Ley 7824/14 – Res. 1315/14
- Mendoza: Ley 7549/2006, Res. EPRE 019/2015
- San Luis: Ley IX-0921-2014
- Neuquén: Ley 9412/2016
- Misiones: Ley XVI-N°118
- Tucumán: P.L. 93/2016
- Río Negro: Res. EPE /2017

Cabe mencionar que en las provincias de Santa Fe y Salta se ha establecido un modelo FIT para los primeros 8 años desde la puesta en marcha del sistema (para Santa Fe) y para los 2 primeros años (Salta). Aún en estas condiciones y con una tarifa diferencial elevada que permite en el caso de Santa Fe recuperar la inversión inicial en un plazo razonable, la cantidad de instalaciones realizadas hasta el presente es escasa.

A nivel nacional, la Ley N° 27.424 "Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública" fue promulgada el 20 de diciembre de 2017 mediante el Decreto 1075/2017 del Poder Ejecutivo Nacional [17]. Dicho régimen está orientado esencialmente a la generación distribuida mediante renovables para autoconsumo de usuarios (clientes) del servicio eléctrico prestado por las compañías distribuidoras. La ley crea un fondo fiduciario (FODIS) para la financiación de los beneficios promocionales (bonificación sobre el costo de capital, tarifa adicional de incentivo, crédito fiscal), y también un régimen de fomento a la fabricación nacional de sistemas, equipos e insumos.

■ CONCLUSIONES

El quemado de combustibles de origen fósil (petróleo, gas y carbón) está siendo seriamente cuestionado por sus consecuencias contaminantes, tanto a nivel local (formación de "smog") cuanto regional (producción de lluvia ácida) y global (incremento del efecto invernadero). El reemplazo paulatino de estas fuentes de energía por energías limpias (solar, eólica, etc.), contribuirá a atenuar la contaminación, muy especialmente la asociada a la emisión de gases de efecto invernadero.

Estudios recientes sobre el cambio climático confirman las previsiones más extremas sobre el calentamiento global y algunos de sus impactos. Desde la publicación del Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático, varios trabajos muestran que resulta imprescindible mantener el sistema climático dentro de límites tolerables, realizando para ello el mayor esfuerzo de reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en las próximas décadas, de modo tal que la transición a un sistema energético libre de combustibles fósiles se alcance, en lo esencial, antes de la mitad del corriente siglo.

La generación eléctrica en base a fuentes renovables, centralizada o distribuida, interconectada a la red eléctrica pública es, sin dudas, una alternativa con gran potencial para contribuir en el mediano y largo plazo con la transición mencionada en el párrafo precedente. Entre dichas fuentes, la energía solar tendrá ciertamente un papel fundamental.

Países con estructuras económicas y tecnológicas diferentes, como pueden ser Alemania y China, han desarrollado tecnologías de paneles FV que permitieron bajar sensible-

mente los costos de fabricación, encontrándose actualmente en el mercado internacional precios de paneles solares por debajo de 0,3 U\$/W_p. La drástica caída en los costos de generación de electricidad mediante energía solar FV ha permitido alcanzar en diversos países costos competitivos con la energía eléctrica convencional, habiendo dado lugar a la firma de contratos de venta de energía con valores que, en algunos casos, han estado por debajo de 30 U\$/MWh.

Alemania, China, Japón, Estados Unidos, Francia, Italia y Gran Bretaña, entre otros, han realizado un significativo esfuerzo para que los usuarios se vuelquen a la utilización de sistemas FV, contribuyendo no sólo a la mitigación de las emisiones, sino también a la creación de empleo, el fortalecimiento de esta industria y el cambio de escala del mercado con la consecuente disminución de costos. Varios países Latinoamericanos han empezado a recorrer también el camino hacia una matriz eléctrica con una participación creciente de las energías renovables.

Las numerosas ventajas de las energías renovables, entre las que cabe destacar el aumento de la seguridad energética, la disminución de costos de generación, el ahorro de divisas, el desarrollo de industria nacional, la generación de empleo y la mitigación del cambio climático, demuestran claramente la necesidad de definir políticas de estado que impulsen el desarrollo y la utilización en la Argentina de este tipo de fuentes. Las condiciones están dadas para dar un salto de calidad en esta dirección, que excede el tema energético por sus implicancias en el cuidado del medio ambiente y en el desarrollo económico y social del país.

■ REFERENCIAS

1. Renewables 2017 - Global Status Report. Informe generado por REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
2. <https://www.c2es.org/technology/factsheet/Biopower> <http://www.renewableenergyworld.com/bioenergy/tech/biopower.html>
3. Latinoamérica y España: caminos opuestos en el fomento de las energías renovables, Universidad Internacional de Valencia. https://www.enernews.com/media/briefs/informe-renovables-en-america-latina-viu_2253.pdf
4. http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf
5. J. Plá, M.D. Perez, J.C. Durán, "Energía solar fotovoltaica", Capítulo 1 del libro Energía Solar, editado por M.A. Laborde y R.J.J. Williams, 1ª edición especial Ciudad Autónoma de Buenos Aires, ANCEFN (Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales), 2016. http://www.ancefn.org.ar/biblioteca/libros_ancefn.html
6. Latin America PV Playbook, Q2 2017 Market Update, May 2017, GTM Research.
7. "Photovoltaics Report", informe generado por el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE), 17/07/2017. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

8. M. Wiesenfarth, S.P. Philipps, A.W. Bett, K. Horowitz, S. Kurtz, "Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology", Version 1.3, April 2017. Informe generado por el *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (ISE) de Freiburg, Alemania, y el *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) de Golden, Colorado, EEUU. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/cpv-report-ise-nrel.pdf>
 9. I. Clover, "Oxford PV to open perovskite fab in Germany", PV Magazine, November 11, 2016. https://www.pv-magazine.com/2016/11/11/oxford-pv-to-open-perovskite-fab-in-germany_100026876/
 10. CAMMESA. Mercado Eléctrico Mayorista, Informe Anual 2016. [http://www.cammesa.com/info-pub.nsf/navegadores/\\$first?open](http://www.cammesa.com/info-pub.nsf/navegadores/$first?open)
 11. R. Eyra et al, 2013. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013, Proyecto IRESUD: "Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos". <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2013/2013-t013-a017.pdf>
 12. Ministerio de Energía y Minería. <https://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar>
 13. Global Market Outlook for Solar Power / 2016 – 2020, informe generado por Solar Power Europe. <http://www.solarpowereurope.org/insights/global-market-outlook/>
 14. "Distributed Generation: A Definition", T. Ackermann et al., Electric Power Systems Research 57, 194 (2001).
 15. <http://www.iresud.com.ar>
 16. Ministerio de Energía y Minería de la Nación, Secretaría de Energía Eléctrica, Res. 256-E/2017.
 17. <http://www.senado.gov.ar/parlamentario/parlamentaria/verExp/parla/CD-39.17-PL>
- **NOTAS**
- 1 Se entiende por W_p watt pico, la potencia que entrega un módulo FV en condiciones estándar, 1 kW/m² de irradiancia bajo el espectro solar AM1.5G y una temperatura de operación de 25°C.
 - 2 Se denomina generación eléctrica distribuida a la generación cercana al punto de consumo.
 - 3 Si bien claramente la energía hidráulica es una fuente de generación renovable, la ley 27191 fija un límite máximo de potencia de 50 MW para los proyectos de centrales hidroeléctricas alcanzados por la ley.

¡¡Oferta!!
Pipetas y
Artículos
Plásticos



ThermoForma

ThermoLabsystems



Nikon



ThermoSorvall



ThermoSorvall



Para encontrar todas las soluciones
en instrumental, no hace falta investigar.

 **microlat**
instrumental científico

Carlos Pellegrini 755 - Piso 9 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Tel/Fax 4326 5205 - 4322 6341 - www.microlat.com.ar



Thermo

TMC



FOTODYNE

convion

HITACHI

TELEDYNE 9300
A Thermo Technology Company



Molecular Devices

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista CIENCIA E INVESTIGACION

Ciencia e Investigación, órgano de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), es una revista de divulgación científica y tecnológica destinada a educadores, estudiantes universitarios, profesionales y público en general. La temática abarcada por sus artículos es amplia y va desde temas básicos hasta bibliográficos: actividades desarrolladas por científicos y tecnólogos, entrevistas, historia de las ciencias, crónicas de actualidad, biografías, obituarios y comentarios bibliográficos. Desde el año 2009 la revista tiene difusión en versión on line (www.aargentinapciencias.org)

PRESENTACIÓN DEL MANUSCRITO

El artículo podrá presentarse vía correo electrónico, como documento adjunto, escrito con procesador de texto word (extensión «doc») en castellano, en hoja tamaño A4, a doble espacio, con márgenes de por lo menos 2,5 cm en cada lado, letra Time New Roman tamaño 12. Las páginas deben numerarse (arriba a la derecha) en forma corrida, incluyendo el texto, glosario, bibliografía y las leyendas de las figuras. Colocar las ilustraciones (figuras y tablas) al final en página sin numerar. Por tratarse de artículos de divulgación científica aconsejamos acompañar el trabajo con un glosario de los términos que puedan resultar desconocidos para los lectores no especialistas en el tema.

La primera página deberá contener: Título del trabajo, nombre de los autores, institución a la que pertenecen y lugar de trabajo, correo electrónico de uno solo de los autores (con asterisco en el nombre del autor a quién pertenece), al menos 3 palabras claves en castellano y su correspondiente traducción en inglés. La segunda página incluirá un resumen o referencia sobre el trabajo, en castellano y en inglés, con un máximo de 250 palabras para cada idioma. El texto del trabajo comenzará en la tercera página y finalizará con el posible glosario, la bibliografía y las leyendas de las figuras. La extensión de los artículos que traten temas básicos no excederá las 10.000 palabras, (incluyendo título, autores, resumen, glosario, bibliografía y leyendas). Otros artículos relacionados con actividades científicas, bibliografías, historia de la ciencia, crónicas o notas de actualidad, etc. no deberán excederse de 6.000 palabras.

El material gráfico se presentará como: a) figuras (dibujos e imágenes en formato JPG) y se numerarán correlativamente (Ej. Figura 1) y b) tablas numeradas en forma correlativa independiente de las figuras (Ej. Tabla 1). En el caso de las ilustraciones que no sean originales, éstas deberán citarse en la leyenda correspondiente (cita bibliográfica o de página web). En el texto del trabajo se indicará el lugar donde el autor ubica cada figura y cada tabla (poniendo en la parte media de un renglón Figura... o Tabla..., en negrita y tamaño de letra 14). Es importante que las figuras y cualquier tipo de ilustración sean de buena calidad. La lista de trabajos citados en el texto o lecturas recomendadas, deberá ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el apellido del primer autor, seguido por las iniciales de los nombres, año de publicación entre paréntesis, título completo de la misma, título completo de la revista o libro donde fue publicado, volumen y página. Ej. Benin L.W., Hurste J.A., Eigenel P. (2008) The non Lineal Hypercycle. Nature 277, 108 – 115.

Se deberá acompañar con una carta dirigida al Director del Comité Editorial de la revista Ciencia e Investigación solicitando su posible publicación (conteniendo correo electrónico y teléfono) y remitirse a cualquiera de los siguientes miembros del Colegiado Directivo de la AAPC: abaladi@dna.uba.ar - nidiabasso@yahoo.com - miguelblesa@yahoo.es – xammar@argentina.com - sarce@cnea.gov.ar y con copia a secretaria@aargentinapciencias.org

Quienes recepcionen el trabajo acusarán recibo del mismo y lo elevarán al Comité Editorial. Todos los artículos serán arbitrados. Una vez aprobados para su publicación, la versión corregida (con las críticas y sugerencias de los árbitros) deberá ser nuevamente enviada por los autores.



**34 CENTROS DE INVESTIGACIÓN PROPIOS, ASOCIADOS,
VINCULADOS O EN RED**

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

- CARRERA DEL INVESTIGADOR CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO**
- CARRERA DEL PERSONAL DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**
- PROGRAMA DE BECAS**
 - Becas de entrenamiento para alumnos universitarios
 - Becas de estudio
 - Becas de perfeccionamiento
- SUBSIDIOS**
 - Para la Realización de Reuniones Científicas y Tecnológicas y Asistencia a Reuniones
 - Para Publicaciones Científicas y Tecnológicas
 - Para Proyectos de Investigación de Interés Provincial

**INNOVACIÓN, TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y CULTURA
EMPREDEDORA**

- PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA**
- PROGRAMA EMPRECIC**
- CRÉDITO FISCAL**
- PROGRAMA DE FORMACIÓN DE FORMADORES EN
EMPREDEDORISMO**

**Ciencia
Tecnología
Innovación**

 *comisionedeinvestigaciones.
cientificas*

www.cic.gba.gov.ar